



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE**

FELIPE CAVALCANTISAMPAIO

**Análise dimensional da aresta lateral de corte e núcleo
de instrumentos reciprocantes antes e após o preparo
do canal radicular**

**Goiânia
2016**

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES
E
DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: ☐ **Dissertação** ☒ **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

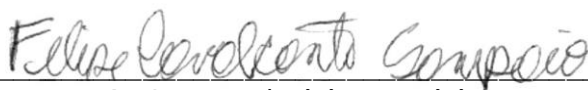
Nome completo do autor: Felipe Cavalcanti Sampaio

Título do trabalho: Análise dimensional da aresta lateral de corte e núcleo de instrumentos recíprocos antes e após o preparo do canal radicular

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM ☐ NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.



Assinatura do (a) autor (a)
Assinatura do (a) autor (a)

Data: 02/05/2016

FELIPE CAVALCANTISAMPAIO

**Análise dimensional da aresta lateral de corte e do
núcleo de instrumentos reciprocantes antes e após o
preparo de canais radiculares**

Tese de doutorado apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da
Faculdade de Medicina da Universidade
Federal de Goiás para obtenção do título de
Doutor em Ciências da Saúde.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Estrela

Co-orientador: Prof. Dr. Daniel de A. Decurcio

**Goiânia
2016**

Sampaio, Felipe Cavalcanti

Análise dimensional da aresta lateral de corte e do núcleo de instrumentos reciprocantes antes e após o preparo de canais radiculares [manuscrito] / Felipe Cavalcanti Sampaio. - 2016. x, 77 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Estrela; co-orientador Dr. Daniel de Almeida Decurcio.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Medicina (FM) , Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, Goiânia, 2016.

Bibliografia. Anexos. Inclui siglas, fotografias, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

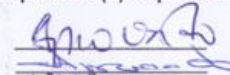
1. Deformações plásticas. 2. Aresta lateral de corte. 3. Instrumentos reciprocantes. 4. Preparo do canal radicular. I. Estrela, Carlos, orient. II. Decurcio, Daniel de Almeida, co-orient. III. Título.

Ata de Defesa de Tese de Doutorado realizada por **Felipe Cavalcanti Sampaio**. Aos dois dias do mês de Maio do ano de 2016 às 08:30 hs, reuniu-se na Faculdade de Odontologia/UFG a Comissão Julgadora infra nomeada para proceder ao julgamento da defesa de Tese intitulada: "**Análise dimensional da aresta lateral de corte e núcleo de instrumentos reciprocantes antes e após o preparo do canal radicular**", como parte de requisitos necessários à obtenção do título de Doutor, área de concentração **Patologia, Clínica e Tratamento das Doenças Humanas**. O Presidente da Comissão julgadora, **Prof. Dr. Carlos Estrela**, iniciando os trabalhos concedeu a palavra ao candidato, para exposição em até 50 minutos do seu trabalho. A seguir, o Senhor Presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente aos Examinadores, os quais passaram a arguir o candidato durante o prazo máximo de 30 minutos, assegurando-se ao mesmo igual prazo para responder aos Senhores Examinadores. Ultimada a arguição que se desenvolveu nos termos regimentais, a Comissão, em sessão secreta, expressou seu Julgamento, considerando o candidato aprovado(o) ou reprovado(o).

Banca Examinadora

Prof. Dr. Carlos Estrela - Presidente
Profa. Dra. Ana Helena Gonçalves de Alencar - Membro
Prof. Dr. Daniel de Almeida Decúrcio - Membro
Profa. Dra. Heloísa Helena Pinho Veloso - Membro
Prof. Dr. Jesus Djalma Pécora - Membro
Prof. Dr. Orlando Aguirre Guedes - Suplente
Prof. Dr. Julio Almeida Silva - Suplente

Aprovado(a)/Reprovado(a)

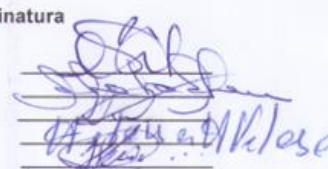


APROVADO
APROVADO

Em face do resultado obtido, a Comissão Julgadora considerou o candidato **Felipe Cavalcanti Sampaio** **Habilitado(o)** ☒ **Não habilitado (o)** ☐. Nada mais havendo a tratar, eu **Prof. Dr. Carlos Estrela**, lavrei a presente ata que, após lida e achada conforme foi por todos assinada

Assinatura

Prof. Dr. Carlos Estrela - Presidente
Profa. Dra. Ana Helena Gonçalves de Alencar - Membro
Prof. Dr. Daniel de Almeida Decúrcio - Membro
Profa. Dra. Heloísa Helena Pinho Veloso - Membro
Prof. Dr. Jesus Djalma Pécora - Membro
Prof. Dr. Orlando Aguirre Guedes - Suplente
Prof. Dr. Julio Almeida Silva - Suplente



A banca examinadora aprovou a seguinte alteração no título da Tese:



Discente: Felipe Cavalcanti Sampaio

**Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde
da Universidade Federal de Goiás**

BANCA EXAMINADORA DE TESE DE DOUTORADO

Aluno: Felipe Cavalcanti Sampaio

Orientador: Prof. Dr. Carlos Estrela

Co-orientador: Prof. Dr. Daniel de Almeida Decurcio

Membros:

1. Prof.^a Dr.^a Ana Helena Gonçalves de Alencar

2. Prof. Dr. Carlos Estrela

3. Prof. Dr. Daniel de Almeida Decurcio

4. Prof.^a Dr.^a Heloísa Helena Pinho Veloso

5. Prof. Dr. Jesus Djalma Pécora

Suplentes:

1. Prof. Dr. Orlando Aguirre Guedes

2. Prof. Dr. Julio Almeida Silva

Data: 02/05/2016

DEDICATÓRIA

*Este trabalho é dedicado ao amor que
sempre tive, ao amor que encontrei, e ao
amor que ainda está por vir.*

*Na vida não importa o que você esteja fazendo,
faça sempre o seu melhor.*

(Ayrton Senna)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me proporcionado muito mais do que almejei até aqui e me permitir almejar ainda mais.

Ao meu filho Mateus, imensamente amado e que me dá forças para buscar o meu melhor.

À minha esposa, Ana Paula, a quem amo e que sempre me apoiou, mesmo diante das situações adversas que já passamos.

Aos meus pais, Geraldo e Fátima, que me amam incondicionalmente e me proporcionaram ser a pessoa que hoje sou.

Aos meus irmãos, Alan, Alex e Fagner, com os quais mantenho laços eternos familiares e de amizade.

Aos meus sobrinhos, fonte de alegria infindável e nos quais vejo um futuro grandioso pela frente.

À minha eterna mentora, Prof.^a Heloísa, que me proporcionou oportunidades que mudaram minha vida profissional e pessoal.

Ao meu orientador, Prof. Carlos Estrela, exemplo como profissional e pessoa e que tenho como um amigo e que me ensinou muito mais que Endodontia.

Aos meus professores, em especial à Prof.^a Ana Helena, que com tanto esforço mostraram o melhor caminho a seguir.

Aos meus amigos, em especial Ana Paula, Larissa, Mariana, Marcel, Orlando, Daniel, Heloísa, Hianne, Mayara, Denise e Wagner, sempre presentes nos momentos de dificuldades.

Ao programa de pós-graduação em Ciências da Saúde, pela oportunidade de me aperfeiçoar como profissional, pesquisador e docente.

À CAPES, pelo fundamental auxílio financeiro durante a realização do mestrado e do doutorado.

A todos que contribuíram para a minha formação, meu muito obrigado.

SUMÁRIO

RESUMO	14
ABSTRACT	15
1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	20
2.1 Objetivo geral	20
2.2 Objetivos específicos	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 Seleção da amostra	21
3.2 Obtenção das imagens antes do preparo do canal radicular	21
3.3 Preparo do canal radicular	21
3.4 Obtenção das imagens depois do preparo do canal radicular	22
3.5 Análise das imagens de microscopia eletrônica de varredura	22
3.6 Análise estatística	24
4 RESULTADOS	27
5 DISCUSSÃO	49
6 CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS	57
ARTIGO	61

TABELAS, FIGURAS, QUADROS E ANEXOS

Figura 1	Limites da mensuração da área da aresta lateral de corte. Os pontos amarelos mostram a delimitação superior (mais distante da ponta) e inferior (mais próximo da ponta) da aresta lateral de corte, representada pelo ponto de encontro entre a aresta lateral de corte mensurada e o canal helicoidal. Na imagem, apenas uma aresta lateral de corte foi mensurada devido à região estuda ser 4mm a partir da ponta do instrumento, e a aresta lateral de corte seguinte não estar completamente presente dentro deste limite. A aresta lateral de corte que se encontra com a ponta era descartada, por não apresentar o ponto de delimitação inferior da aresta.	22
Figura 2	Limites da mensuração da área do núcleo. Os pontos amarelos mostram as delimitações laterais para a mensuração do núcleo, determinado pelo mesmo ponto de encontro utilizado para a mensuração da aresta lateral de corte. Foi mensurado o núcleo presente desde a ponta do instrumento até 4mm distante da mesma, a qual era a área estudada.	22
Figura 3	Limites da mensuração do comprimento da aresta lateral de corte. Os pontos amarelos mostram a delimitação superior (mais distante da ponta) e inferior (mais próximo da ponta) da aresta lateral de corte, representada pelo ponto de encontro entre a aresta lateral de corte mensurada e o canal helicoidal. Na imagem, apenas uma aresta lateral de corte foi mensurada devido à região estuda ser 4mm a partir da ponta do instrumento, e a aresta lateral de corte seguinte não estar completamente presente dentro deste limite. A aresta lateral de corte que se encontra com a ponta era descartada, por não apresentar o ponto de delimitação inferior da aresta.	23
Figura 4	Limites para mensurações dos diâmetros transversais, os quais foram medidos a cada 0,5mm (500µm) a partir da ponta do instrumento. Foi utilizada como referência régua confeccionada a partir da escala da imagem de Microscopia Eletrônica de Varredura, delimitando a região a ser analisada e os pontos a serem mensurados os diâmetros.	23
Tabela 1	Dimensões (µm) dos instrumentos Reciproc® R25.	26
Figura 5	Delimitação da área do núcleo do instrumento Reciproc® R25, antes (5A) e depois (5B) do preparo do canal radicular simulado.	27
Tabela 2	Dimensões (µm) dos instrumentos Reciproc® R40.	28
Figura 6	Delimitação da área da primeira aresta lateral de corte do instrumento Reciproc® R40, antes (6A) e depois (6B) do preparo do canal radicular simulado.	29
Tabela 3	Dimensões (µm) dos instrumentos Reciproc® R50.	30

Figura 7	Mensuração do comprimento da aresta lateral de corte do instrumento Reciproc® R50, antes (7A) e depois (7B) do preparo do canal radicular simulado.	31
Tabela 4	Dimensões (µm) dos instrumentos Unicone® n.20.	32
Figura 8	Mensuração do comprimento da aresta lateral de corte do instrumento Unicone® n.20, antes (8A) e depois (8B) do preparo do canal radicular simulado. A mensuração demonstra a deformação plástica no instrumento.	33
Tabela 5	Dimensões (µm) dos instrumentos Unicone® n.25.	34
Figura 9	Delimitação da área do núcleo do instrumento Unicone® n.25, antes (9A) e depois (9B) do preparo do canal radicular simulado.	35
Tabela 6	Dimensões (µm) dos instrumentos Unicone® n.40.	36
Figura 10	Mensuração do comprimento da aresta lateral de corte do instrumento Unicone® n.40, antes (10A) e depois (10B) do preparo do canal radicular simulado. Na imagem 10B foi possível a mensuração da aresta lateral de corte mais próxima à ponta devido à deformação plástica do instrumento após o preparo.	37
Tabela 7	Dimensões (µm) dos instrumentos WaveOne® <i>Small</i> .	38
Figura 11	Mensuração do diâmetro transversal a cada 0,5mm a partir da ponta do instrumento WaveOne® <i>Small</i> , antes (11A) e depois (11B) do preparo do canal radicular simulado.	39
Tabela 8	Dimensões (µm) dos instrumentos WaveOne® <i>Primary</i> .	40
Figura 12	Delimitação das áreas das arestas laterais de corte do instrumento WaveOne® <i>Primary</i> , antes (12A) e depois (12B) do preparo do canal radicular simulado.	41
Tabela 9	Dimensões (µm) dos instrumentos WaveOne® <i>Large</i> .	42
Figura 13	Delimitação da área da aresta lateral de corte do instrumento WaveOne® <i>Large</i> , antes (13A) e depois (13B) do preparo do canal radicular simulado. A mensuração demonstra a deformação plástica no instrumento.	43
Tabela 10	Comparação entre os instrumentos Reciproc® R25, Unicone® n. 25 e WaveOne® <i>Primary</i> , antes e após o uso.	44
Tabela 11	Comparação entre os instrumentos Reciproc® R40, Unicone® n. 40 e WaveOne® <i>Large</i> , antes e após o uso.	45
Anexo	Artigo	56

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ANOVA	Análise de variâncias
cm	Centímetro
LabMic	Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução
®	Marca registrada
µm	Micrômetro
µm ²	Micrômetro quadrado
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
mL	Mililitro
mm	Milímetro
NiTi	Níquel-titânio
n.	Número
%	Porcentagem
P	p-valor
kV	Quilovolt
UFG	Universidade Federal de Goiás
X	Vezes

RESUMO

Objetivo: O objetivo do presente estudo foi analisar a influência das dimensões da aresta lateral de corte e do núcleo do instrumento na formação de deformações plásticas e alterações dimensionais nos instrumentos reciprocantes. **Material e métodos:** Foram utilizados instrumentos endodônticos de rotação recíproca Reciproc® R25, R40 e R50, WaveOne® *Small*, *Primary* e *Large* e Unicone® n.20, n.25 e n.40. Foram obtidas imagens por microscopia eletrônica de varredura de 4mm a partir da ponta do instrumento (aumento de 30X) antes e após o preparo de canais simulados curvos, e os instrumentos utilizados uma única vez. As imagens foram transferidas para o *software* AxioVision® para realização das mensurações dos instrumentos: área da aresta lateral de corte (μm^2); área do núcleo (μm^2); diâmetro transversal do instrumento a cada 0,5mm (μm); e comprimento da aresta lateral de corte (μm). A diferença entre os valores antes e após o uso dos instrumentos foi comparada pelo teste t de *Student* pareado e a diferença entre os instrumentos de mesmo tamanho foi analisada pela ANOVA, seguido do teste de Tukey. Os instrumentos foram classificados pela presença de deformações plásticas após o preparo dos canais radiculares. **Resultados:** Os instrumentos Reciproc® apresentaram as maiores arestas e os menores núcleos. Os Reciproc® R40 apresentaram diferença significativa apenas para a mensuração do diâmetro transversal a 0,5mm da ponta do instrumento ($P < 0,05$). Nenhum instrumento Reciproc® apresentou deformação plástica perceptível. Os instrumentos Unicone® apresentaram diferenças estatísticas significantes ($P < 0,05$) na largura dos instrumentos n.20, a 1,5 e 3,0mm da ponta, e no comprimento das arestas 2 e 3, e na área do núcleo dos instrumentos n.25. Deformações plásticas foram verificadas em um instrumento Unicone n.20 e nos três instrumentos Unicone n.40. Os instrumentos WaveOne® mostraram diferenças significativas para o comprimento da aresta 1 e 4 do WaveOne® *Primary*, e diâmetro transversal a 2mm da ponta do instrumento no WaveOne® *Large*. Foram verificadas deformações plásticas em dois dos três instrumentos *Large*. **Conclusões:** Todos os instrumentos reciprocantes avaliados apresentaram alterações dimensionais após o preparo de canais radiculares simulados curvos. Os instrumentos Reciproc® apresentaram as maiores arestas laterais de corte em área e comprimento e os menores núcleos, quando comparados aos instrumentos Unicone® e WaveOne® de tamanho similar. Os instrumentos Unicone® mostraram a maior quantidade de deformações plásticas por meio de microscopia eletrônica de varredura. Maiores dimensões de aresta lateral de corte e menores dimensões de núcleo apresentaram menor número de deformações plásticas após preparo de canais radiculares simulados curvos.

Palavras-chave: Deformações plásticas, aresta lateral de corte, instrumentos reciprocantes, preparo do canal radicular.

ABSTRACT

Objective: The purpose of the present study was to analyze the influence of flute and shank dimensions present at the first 4mm to occurrence of plastic deformations and dimensional alterations in reciprocating instruments after RCP. **Methodology:** The reciprocating instruments used were Reciproc® R25, R40 and R50, WaveOne® Small, Primary and Large, Unicone® #20, #25 and #40. Scanning electron microscopy images were obtained of the first 4mm from the instrument's tip (30X magnification) before and after shaping of simulated curved root canals. The instruments were used only once. The images were transferred to software AxioVision® to measure the instruments: flute area (μm^2), shank area (μm^2), flute longitudinal length (μm) and instrument transversal diameter (μm). The difference of data before and after root canal preparation (RCP) was compared by Students' T test for paired samples and differences between instruments of similar sizes was performed by ANOVA followed by Tukey's test. The instruments were classified for the plastic deformations presence after RCP. **Results:** Reciproc® instruments showed larger flutes and smaller shanks. The Reciproc® R40 showed significant difference for transversal diameter at 0.5mm from the tip. Reciproc® had no plastic deformations. Unicone® instruments showed significant differences on #20 instruments for transversal diameter at 1.5 and 3.0mm from the tip, and instrument #25 had difference at 1.5 and 3.0mm and second and third flute longitudinal length. Plastic deformations were visualized on one instrument #20m and on three #40. WaveOne® instruments showed significant differences for first and fourth flutes length of WaveOne® Primary, and transversal diameter at 2.0mm from the tip of WaveOne® Large. Plastic deformations were present in two of three Large instruments. **Conclusions:** In summary, Reciproc® instruments had greater area and length of flutes and smaller shanks compared to Unicone® and WaveOne® of similar sizes. Reciproc® showed greater flute to shank ratio. WaveOne® had the lowest flute to shank ratio. Unicone® instruments showed more plastic deformations. Higher flutes and lesser shanks had less plastic deformations after curved RCP.

Keywords: Plastic deformations, flute, reciprocating instruments, endodontic instruments, root canal preparation.

1 INTRODUÇÃO

O processo de sanificação dos canais radiculares, indiferente à condição do tecido pulpar, é caracterizado pela limpeza, controle microbiano e modelagem (SCHILDER, 1974). O esvaziamento e preparo do canal radicular envolvem estratégias de irrigação e formatação necessário para um perfeito selamento (ESTRELA *et al.*, 2014).

A modelagem do sistema de canais radiculares durante a etapa de preparo representa um desafio ao endodontista. A instrumentação de canais radiculares curvos com instrumento não flexível é complexa e incorpora dificuldades quanto à manutenção da forma original e a posição do forame apical, especialmente durante a ampliação a diâmetros adequados à anatomia do canal radicular (LOPES *et al.*, 1998; LIU *et al.*, 2006).

A necessidade de criar um instrumento com maior flexibilidade levou ao estudo da liga de níquel-titânio, desenvolvendo instrumentos que demonstraram uma flexibilidade muito superior aos instrumentos confeccionados em aço inoxidável (WALIA *et al.*, 1988). O avanço destes instrumentos, o modo de fabricação e características de seu emprego permitiu um preparo do canal radicular com rotação contínua de forma mais segura (PETERS *et al.*, 2004). No entanto, deformações plásticas podem ocorrer no instrumento durante o preparo dos canais radiculares e até ser responsável pela fratura do mesmo, o que constitui um dos principais problemas que podem ocorrer durante o preparo (WANG *et al.*, 2014).

Em busca de melhorias do instrumento rotatório de níquel-titânio, foram confeccionados e introduzidos no mercado instrumentos com diferentes estruturas morfológicas, secções transversais (HAAPASALO & SHEN, 2013),

tratamentos de superfície (LOPES *et al.*, 2010), e tratamentos térmicos (SHEN *et al.*, 2013).

O movimento reciprocante foi introduzido para uso associado a instrumentos endodônticos de níquel-titânio (YARED, 2008). Desde a década de 1960 foi introduzido um equipamento capaz de realizar esta cinemática. O motor realizava o movimento de um quarto de volta no sentido horário, e em seguida, o mesmo movimento no sentido anti-horário (FRANK, 1967). Contudo, esta cinemática não apresentava grande benefício para instrumentos de aço inoxidável em relação à instrumentação manual (SPYROPOULOS *et al.*, 1987).

A cinemática reciprocante utilizada com instrumentos de níquel-titânio é realizada a partir de um movimento rotacional em sentido anti-horário e, antes de completar o giro completo, realiza-se outro movimento rotacional em sentido reverso e mais curto. Esta cinemática proporcionou um avanço em busca do aumento da resistência do instrumento de níquel-titânio (YARED, 2008; LOPES *et al.*, 2013). Estudos comparativos mostraram que a rotação recíproca aumenta a resistência à fadiga cíclica, assim como evita que a ponta do instrumento fique presa nas paredes do canal radicular, o que evitaria a fratura por torção (DE-DEUS *et al.*, 2010; WAN *et al.*, 2011; GAVINI *et al.*, 2012; DE-DEUS *et al.*, 2013; JIN *et al.*, 2013; LOPES *et al.*, 2013; PEDULLA *et al.*, 2013; KIEFNER *et al.*, 2014; SHIN *et al.*, 2014).

Outra vantagem dos instrumentos reciprocantes é o tratamento térmico submetido ao instrumento durante seu modo de fabricação. Este tratamento é dependente de pequenas variações na composição química do instrumento e tem como objetivo a melhoria das propriedades mecânicas do instrumento. Os instrumentos reciprocantes recebem principalmente o tratamento térmico no estágio de reorientação da martensita, cuja liga resultante é denominada M-

Wire. Esta liga se caracteriza por apresentar maior flexibilidade, além de maior deformação plástica quando submetida à tensão, mas menor chance de fratura (ZHOU *et al.*, 2013).

Apesar das vantagens, foi observada a ocorrência de deformações plásticas e fraturas em instrumentos desenvolvidos para rotação recíproca. Estudo clínico com 1696 instrumentos Reciproc® utilizados clinicamente encontraram índice de fratura de 0,47% dos instrumentos R25 utilizados uma única vez; 0,35% apresentaram deformações plásticas (PLOTINO *et al.*, 2015). Outro estudo clínico em que foi avaliado o índice de fraturas em instrumentos WaveOne® utilizados clinicamente uma única vez, do total de 2215 instrumentos canais radiculares instrumentados, três instrumentos fraturaram na região apical da raiz (CUNHA *et al.*, 2014).

O comportamento mecânico dos instrumentos durante o preparo dos canais radiculares pode trazer repercussões ao dente, influenciando no prognóstico do tratamento endodôntico. Vários estudos têm destacado microfraturas desenvolvidas posterior ao preparo do canal radicular com instrumentos reciprocantes, principalmente no terço apical da raiz (BURKLEIN *et al.*, 2013; ARIAS *et al.*, 2014; JAMLEH *et al.*, 2015; KARATAS *et al.*, 2015).

Uma das características dos instrumentos endodônticos que pode influenciar na sua resistência e seu comportamento mecânico é a característica morfológica do desenho da sua parte ativa (HÜLSMANN *et al.*, 2005; CHEUNG, 2009; MCGUIGAN *et al.*, 2013). Biz & Figueiredo (2004) avaliaram a relação entre a dimensão da aresta de corte e do núcleo na região da primeira, terceira e quinta arestas de corte dos instrumentos ProFile .04, ProFile .06, Pow R .02, Pow R .04 e Quantec 2000. A relação entre as arestas e o núcleo mostrou-se proporcional em todos os instrumentos avaliados. Foi observado também que

o instrumento Quantec 2000 apresentava aresta de corte de maior área em relação aos demais, o que poderia ser responsável por um reforço na estrutura deste instrumento.

Diante de diversos tipos de instrumentos, conhecer as características de cada um e como estas características podem influenciar no seu comportamento mecânico é fundamental para o profissional escolher qual instrumento deve utilizar diante de cada situação clínica. Uma vez que os instrumentos disponíveis no mercado apresentam aresta lateral de corte e núcleo de diferentes desenhos e dimensões, é oportuno avaliar a relação destes parâmetros com a ocorrência de deformações nos novos instrumentos endodônticos reciprocantes disponíveis no mercado.

O objetivo do presente estudo foi analisar a presença de deformações plásticas e alterações dimensionais da aresta lateral de corte e do núcleo dos primeiros 4mm do instrumento nos instrumentos reciprocantes dos sistemas Reciproc®, Unicone® e WaveOne® após o preparo do canal radicular.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar a presença de deformações plásticas e alterações dimensionais da aresta lateral de corte e do núcleo dos primeiros 4mm do instrumento nos instrumentos reciprocantes dos sistemas Reciproc®, Unicone® e WaveOne® após o preparo do canal radicular.

2.2 Objetivos específicos

- Verificar a presença de deformação plástica por microscopia eletrônica de varredura na região dos 4mm a partir da ponta dos instrumentos reciprocantes Reciproc® R25 - n.25/.08, R40 - n.40/.06, e R50 - n.50/.05, Unicone® n.20/.06, n.25/.06, n.40/.06; WaveOne® *Small* - n.21/.06, *Primary* - n.25/.08, *Large* - n.40/.08.
- Determinar a área das arestas laterais de corte e do núcleo, o diâmetro transversal e o comprimento das arestas laterais de corte de instrumentos de níquel-titânio de rotação recíproca Reciproc® R25 - n.25/.08, R40 - n.40/.06, e R50 - n.50/.05, Unicone® n.20/.06, n.25/.06, n.40/.06; WaveOne® *Small* - n.21/.06, *Primary* - n.25/.08, *Large* - n.40/.08.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Seleção da amostra

A análise dimensional da aresta lateral de corte e do núcleo foi realizada em instrumentos reciprocantes de diferentes conicidades e procedências: Reciproc® R25 - n.25/.08, R40 - n.40/.06, e R50 - n.50/.05 (VDW, Munique, Alemanha); Unicone® n.20/.06, n.25/.06, n.40/.06 (Medin, Nové Město na Moravě, República Tcheca); WaveOne® *Small* - n.21/.06, *Primary* - n.25/.08, *Large* - n.40/.08 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça). Foram utilizados três instrumentos de cada (n=27).

3.2 Obtenção das imagens antes do preparo do canal radicular

As amostras (instrumentos reciprocantes sem uso) foram fixadas em *stubs* (porta amostra de alumínio) de 5,5 cm de diâmetro. As imagens das superfícies de cada instrumento foram obtidas por meio de microscopia eletrônica de varredura (Jeol, JSM – 6610, Toquio, Japão). As imagens foram adquiridas (30X de aumento e tensão de 7kV) dos 4 primeiros milímetros a partir da ponta do instrumento em duas posições: A - face plana (côncava) da haste de fixação; e B - face convexa da haste de fixação (LabMic, UFG).

3.3 Preparo do canal radicular

Os instrumentos foram limpos em água corrente, e depois levados à cuba ultrassônica (Cristófoli, Campo Mourão – PR, Brasil) por 3 minutos, e secos com auxílio de gaze limpa e esterilizada.

Vinte e sete canais simulados curvos (IM do Brasil Ltda., São Paulo – SP, Brasil) padronizados (0,18mm no limite apical e 15mm de comprimento) foram utilizados para o preparo dos canais radiculares. Os canais radiculares simulados foram irrigados com 5mL de solução de hipoclorito de sódio a 2,5% (Fórmula Mais, Palmas – TO, Brasil) durante o preparo. Os canais radiculares foram preparados com instrumento único, e uso de motor elétrico X-Smart Plus® (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) com programa “Reciproc” para os instrumentos Reciproc®, e programa “WaveOne” para os instrumentos WaveOne® e Unicone®. O programa “WaveOne” foi selecionado para o instrumento Unicone® por apresentar numerações de instrumentos mais próximas ao sistema WaveOne®, e não existir programa específico para este tipo de instrumento no motor X-Smart Plus®. Após os preparos dos canais radiculares, os instrumentos foram novamente limpos de acordo com a metodologia descrita antes do preparo.

3.4 Obtenção das imagens depois do preparo do canal radicular

As amostras foram novamente fixadas em *stubs* e encaminhadas para obtenção de imagens por microscopia eletrônica de varredura a partir da ponta do instrumento com aumento de 30X e tensão de 7kV (LabMic, UFG), de acordo com a metodologia descrita anteriormente.

3.5 Análise das imagens de microscopia eletrônica de varredura

As imagens de microscopia eletrônica de varredura foram transferidas para o *software* AxioVision® (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Alemanha) para realização das análises dimensionais dos instrumentos.

Os instrumentos foram analisados pela presença de deformações plásticas – alterações de forma da parte ativa do instrumento, caracterizada pela deformação das espiras do instrumento (LOPES *et al.*, 2011) – após o uso dos mesmos em comparação à sua imagem antes do uso. Foi verificado se o instrumento apresentava uma deformação plástica visível ao aumento utilizado, sem verificar a quantidade de deformações plásticas por instrumento, posição ou caracterização morfológica da deformação.

A análise dimensional foi iniciada pela delimitação a área das arestas laterais de corte. Para sua mensuração, foi traçada sua delimitação externa, usando como limites longitudinais os pontos de encontro entre a aresta lateral de corte a ser mensurada e os canais helicoidais superior e inferior à referida aresta (Figura 1). Foram mensuradas as arestas laterais de corte do lado superior da imagem, como forma de padronização, e presentes de forma completa nos quatro primeiros milímetros do instrumento a partir da ponta, em micrômetros quadrados (μm^2).

Foi mensurada a área do núcleo dos quatro primeiros milímetros do instrumento a partir da ponta. Para a delimitação lateral do núcleo foram utilizados os mesmos pontos utilizados para delimitação das áreas das arestas laterais de corte como limites laterais. O limite inferior foi a ponta do instrumento e o limite superior foi o ponto em que se atingia 4mm a partir da ponta (Figura 2).

Além destas medidas, foi verificado o comprimento da aresta lateral de corte, delimitado pelos pontos de encontro entre a aresta lateral de corte e os canais helicoidais superior e inferior à aresta (Figura 3). A mensuração foi realizada em micrômetros (μm).

Em seguida, foram realizadas mensurações do diâmetro do instrumento a 0,5mm, 1mm, 1,5mm, 2mm, 2,5mm, 3mm, 3,5mm e 4mm da ponta do instrumento, em micrômetros (μm) (Figura 4).

3.6 Análise estatística

Os dados obtidos pela análise de deformações plásticas presentes na superfície do instrumento foram analisados descritivamente por meio de tabela de frequência de instrumentos que apresentavam deformações plásticas (não foram verificados a quantidade de deformações e características das deformações plásticas, apenas quantos instrumentos de cada apresentavam deformações plásticas após o uso).

Após a obtenção dos dados das mensurações, foi realizada a comparação antes e após o preparo dos canais radiculares por meio de análise pareada. Para esta análise, foi utilizado o teste T de *Student* para amostras pareadas.

Os instrumentos de número n.25 (Reciproc R25, Unicone n.25 e WaveOne Primary) e n.40 (Reciproc R40, Unicone n.40 e WaveOne Large) foram comparados entre os sistemas por meio da Análise de Variâncias (ANOVA) e Teste de Tukey.

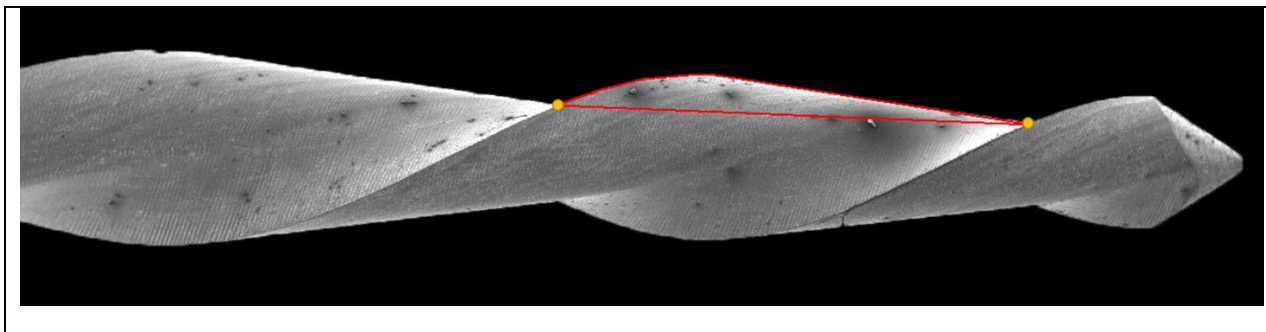


Figura 1. Limites da mensuração da área da aresta lateral de corte. Os pontos amarelos mostram a delimitação superior (mais distante da ponta) e inferior (mais próximo da ponta) da aresta lateral de corte, representada pelo ponto de encontro entre a aresta lateral de corte mensurada e o canal helicoidal. Na imagem, apenas uma aresta lateral de corte foi mensurada devido à região estuda ser 4mm a partir da ponta do instrumento, e a aresta lateral de corte seguinte não estar completamente presente dentro deste limite. A aresta lateral de corte que se encontra com a ponta era descartada, por não apresentar o ponto de delimitação inferior da aresta.

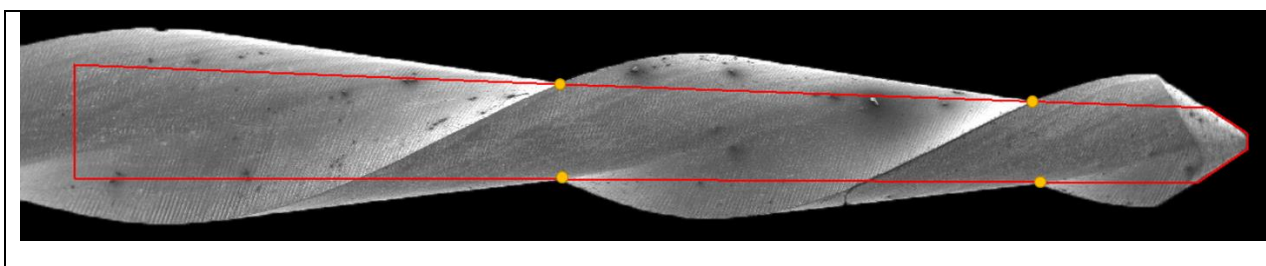


Figura 2. Limites da mensuração da área do núcleo. Os pontos amarelos mostram as delimitações laterais para a mensuração do núcleo, determinado pelo mesmo ponto de encontro utilizado para a mensuração da aresta lateral de corte. Foi mensurado o núcleo presente desde a ponta do instrumento até 4mm distante da mesma, a qual era a área estudada.

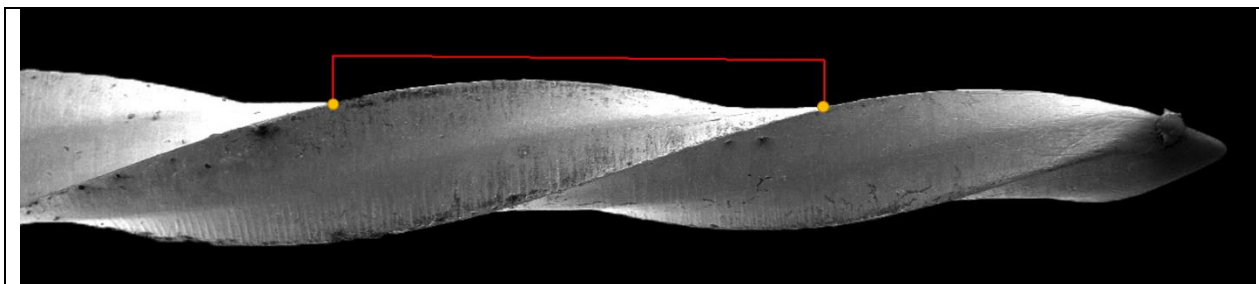


Figura 3. Limites da mensuração do comprimento da aresta lateral de corte. Os pontos amarelos mostram a delimitação superior (mais distante da ponta) e inferior (mais próximo da ponta) da aresta lateral de corte, representada pelo ponto de encontro entre a aresta lateral de corte mensurada e o canal helicoidal. Na imagem, apenas uma aresta lateral de corte foi mensurada devido à região estuda ser 4mm a partir da ponta do instrumento, e a aresta lateral de corte seguinte não estar completamente presente dentro deste limite. A aresta lateral de corte que se encontra com a ponta era descartada, por não apresentar o ponto de delimitação inferior da aresta.

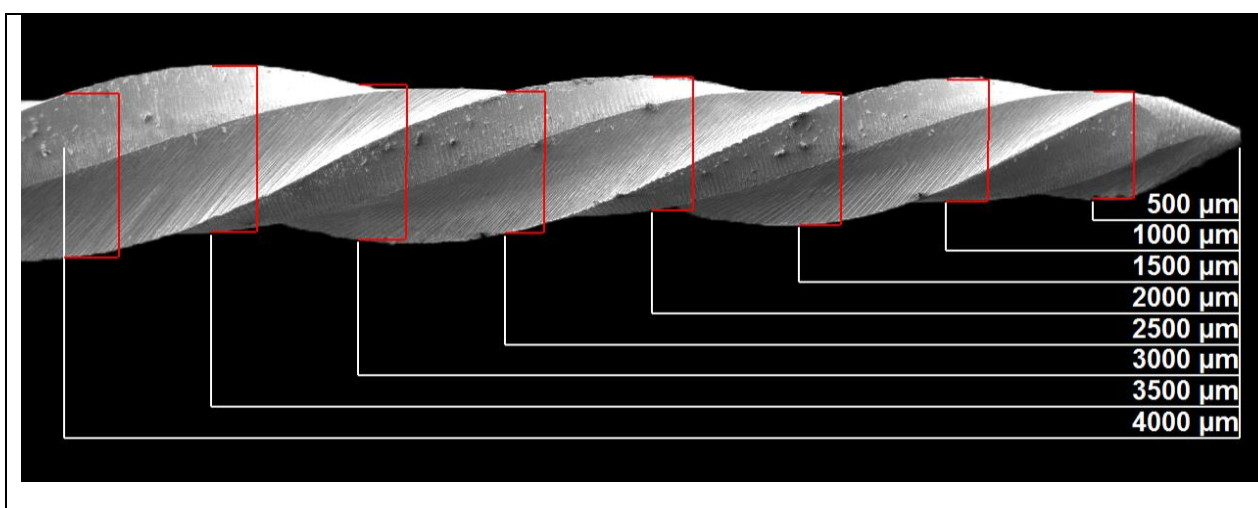


Figura 4. Limites para mensurações dos diâmetros transversais, os quais foram medidos a cada 0,5mm (500µm) a partir da ponta do instrumento. Foi utilizada como referência régua confeccionada a partir da escala da imagem de Microscopia Eletrônica de Varredura, delimitando a região a ser analisada e os pontos a serem mensurados os diâmetros.

4 RESULTADOS

Deformações plásticas nas espiras dos instrumentos endodônticos analisadas a partir de imagens de microscopia eletrônica de varredura foram verificadas em 1 instrumento endodôntico Unicone® n.20, 3 instrumentos Unicone® n.40 e 2 instrumentos WaveOne® *Large*.

Nas mensurações foram identificadas alterações estruturais após o preparo dos canais radiculares. Os instrumentos Reciproc® apresentaram as maiores arestas e os menores núcleos. Os instrumentos Reciproc® R25 e R50 não apresentaram diferenças significativas quando comparados antes e após o uso em canais simulados curvos ($P>0,05$; Tabela 1 e 3, respectivamente). Os instrumentos Reciproc® R40 apresentaram diferenças significativas apenas para a mensuração do diâmetro transversal a 0,5mm da ponta do instrumento ($P<0,05$; Tabela 2).

Os instrumentos Unicone® apresentaram diferenças significantes ($P<0,05$) no diâmetro transversal dos instrumentos Unicone® n.20, a 1,5 e 3,0mm da ponta, e no comprimento das arestas 2 e 3 (Tabela 4). Diferença significativa foi encontrada na área do núcleo dos instrumentos Unicone® n.25 (Tabela 5). Os instrumentos Unicone® n.40 não apresentaram diferença significativa (Tabela 6).

Os instrumentos WaveOne® mostraram diferenças significativas para o comprimento da aresta 1 e 4 do instrumento WaveOne® *Primary*. O diâmetro transversal a 2mm da ponta do instrumento no WaveOne® *Large* mostrou diferença significativa após a instrumentação de canais simulados curvos. As demais mensurações não apresentaram diferenças significativas (Tabelas 7, 8 e 9).

A comparação entre os instrumentos de número 25 (Reciproc® R25, Unicone® n.25 e WaveOne® *Primary*) não mostrou diferença significativa tanto antes como depois do uso entre todos instrumentos para o diâmetro a 1,0mm, 2,5mm e 4,0mm da ponta do instrumento. A comparação entre os instrumentos número 25 antes e depois pode ser analisada na Tabela 10.

A comparação entre os instrumentos de número 40 (Reciproc® R40, Unicone® n.40 e WaveOne® *Large*) não mostrou diferença significativa tanto antes como depois do uso entre todos instrumentos para o diâmetro a 1,5mm, 2,5mm e 4,0mm da ponta do instrumento. A comparação entre os instrumentos número 40 antes e depois pode ser analisada na Tabela 11.

As figuras 5 a 13 mostram mensurações antes e após o preparo de canais curvos simulados.

Tabela 1. Dimensões (μm) dos instrumentos Reciproc® R25.

Variável	Média antes do preparo	Média após o preparo	P
Área Aresta 1	34871,30	34498,15	0,660
Área Aresta 2	52392,59	52155,55	0,866
Área Núcleo	976682,41	973281,48	0,555
Diâmetro 0,5	187,00	182,52	0,585
Diâmetro 1,0	299,51	294,53	0,297
Diâmetro 1,5	247,18	254,41	0,294
Diâmetro 2,0	357,28	333,66	0,867
Diâmetro 2,5	365,02	374,43	0,772
Diâmetro 3,0	365,31	364,57	0,959
Diâmetro 3,5	483,86	473,77	0,278
Diâmetro 4,0	401,23	419,02	0,597
Comprimento Aresta 1	1059,89	1048,20	0,387
Comprimento Aresta 2	1242,84	1226,44	0,335

Reciproc® R25 - n.25/.08 (VDW, Munique, Alemanha).

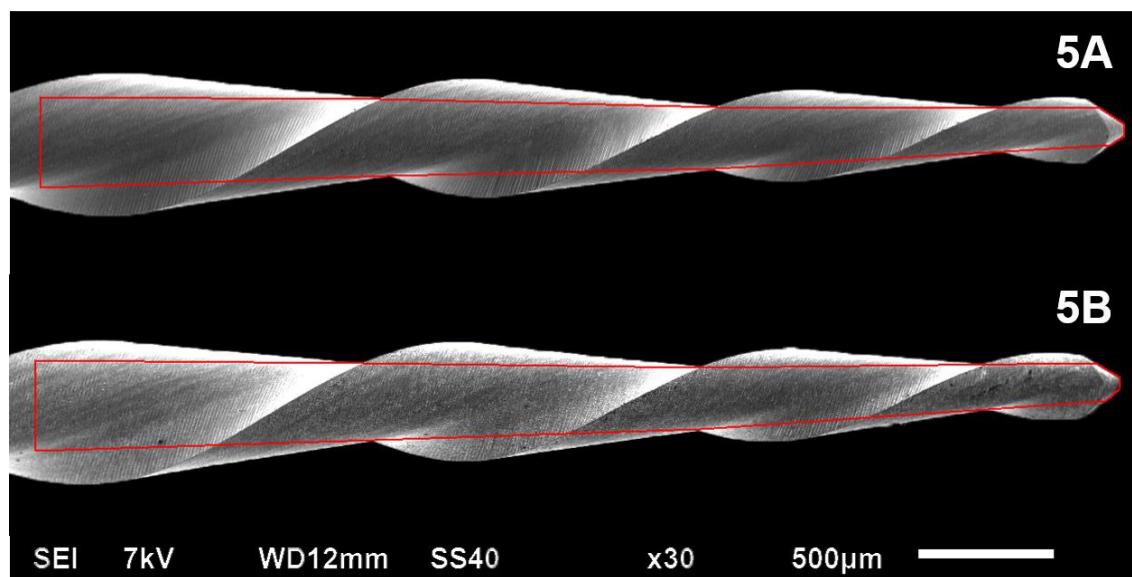


Figura 5. Delimitação da área do núcleo do instrumento Reciproc® R25, antes (5A) e depois (5B) do preparo do canal radicular simulado.

Tabela 2. Dimensões (µm) dos instrumentos Reciproc® R40.

Variável	Média antes do preparo	Média após o preparo	P
Área Aresta 1	76051,85	81265,74	0,452
Área Núcleo	1111100,00	1108128,70	0,854
Diâmetro 0,5	288,12	355,35	0,028
Diâmetro 1,0	369,05	321,80	0,144
Diâmetro 1,5	380,57	384,95	0,911
Diâmetro 2,0	395,66	443,41	0,240
Diâmetro 2,5	445,95	378,76	0,155
Diâmetro 3,0	442,44	444,16	0,973
Diâmetro 3,5	425,39	517,03	0,069
Diâmetro 4,0	516,69	502,79	0,793
Comprimento Aresta 1	1368,57	1395,60	0,577

Reciproc® R40 - n.40/.06 (VDW, Munique, Alemanha).

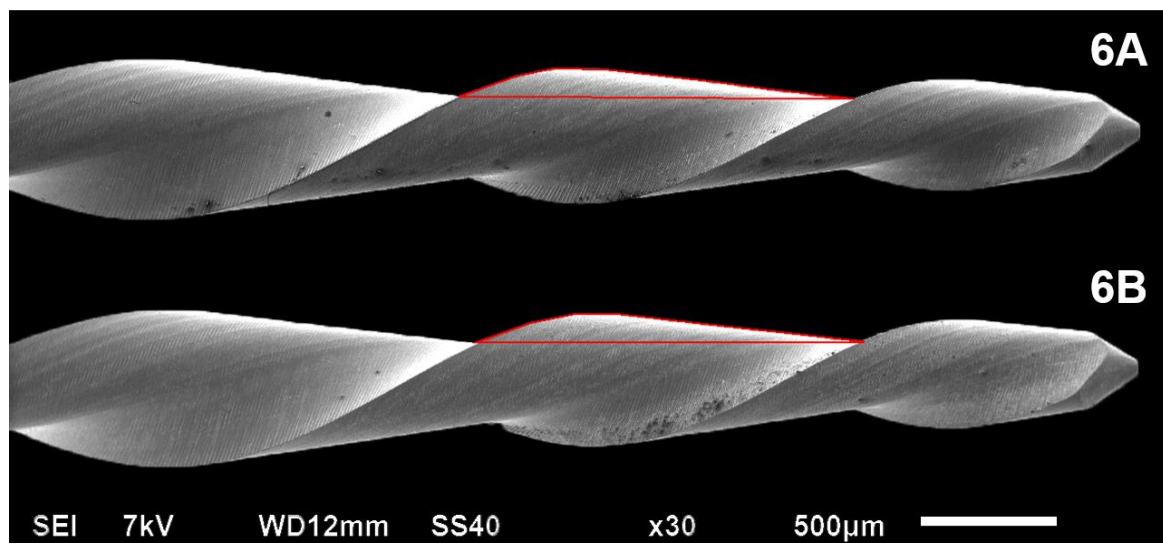


Figura 6. Delimitação da área da primeira aresta lateral de corte do instrumento Reciproc® R40, antes (6A) e depois (6B) do preparo do canal radicular simulado.

Tabela 3. Dimensões (µm) dos instrumentos Reciproc® R50.

Variável	Média antes do preparo	Média após o preparo	P
Área Aresta 1	124526,67	129549,07	0,382
Área Núcleo	1264668,52	1250212,96	0,429
Diâmetro 0,5	415,00	412,21	0,900
Diâmetro 1,0	417,31	377,24	0,200
Diâmetro 1,5	392,82	428,37	0,137
Diâmetro 2,0	496,18	498,41	0,925
Diâmetro 2,5	509,41	467,73	0,276
Diâmetro 3,0	442,10	482,12	0,447
Diâmetro 3,5	493,34	492,15	0,975
Diâmetro 4,0	591,13	588,88	0,951
Comprimento Aresta 1	1705,20	1720,67	0,534

Reciproc® R50 - n.50/.05 (VDW, Munique, Alemanha).

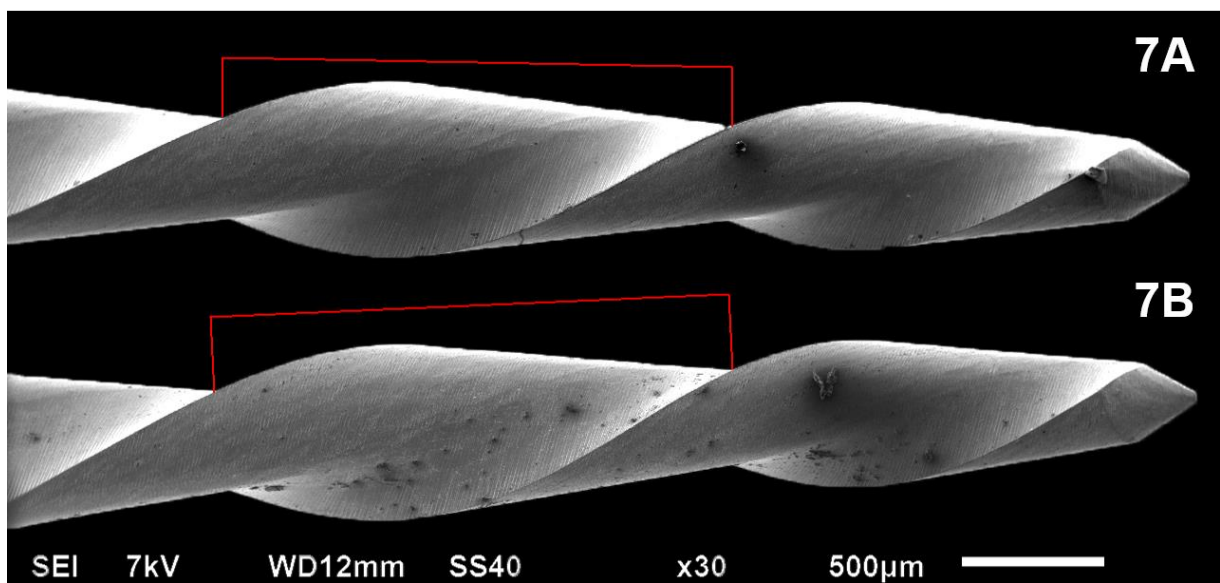


Figura 7. Mensuração do comprimento da aresta lateral de corte do instrumento Reciproc® R50, antes (7A) e depois (7B) do preparo do canal radicular simulado.

Tabela 4. Dimensões (μm) dos instrumentos Unicone® n.20.

Variável	Média antes do preparo	Média após o preparo	P
Área Aresta 1	6550,93	6400,00	0,856
Área Aresta 2	8386,11	8897,22	0,636
Área Aresta 3	13167,68	15320,37	0,449
Área Núcleo	1091283,34	1093412,96	0,885
Diâmetro 0,5	252,18	238,28	0,599
Diâmetro 1,0	272,24	257,77	0,438
Diâmetro 1,5	290,01	280,03	0,017
Diâmetro 2,0	305,53	306,21	0,815
Diâmetro 2,5	315,08	318,98	0,442
Diâmetro 3,0	328,07	338,07	0,004
Diâmetro 3,5	353,27	351,07	0,329
Diâmetro 4,0	379,42	381,07	0,743
Comprimento Aresta 1	707,37	750,19	0,231
Comprimento Aresta 2	820,61	875,78	0,026
Comprimento Aresta 3	905,01	1031,24	0,008

Unicone® n.20/06 (Medin, Nové Město na Moravě, República Tcheca).

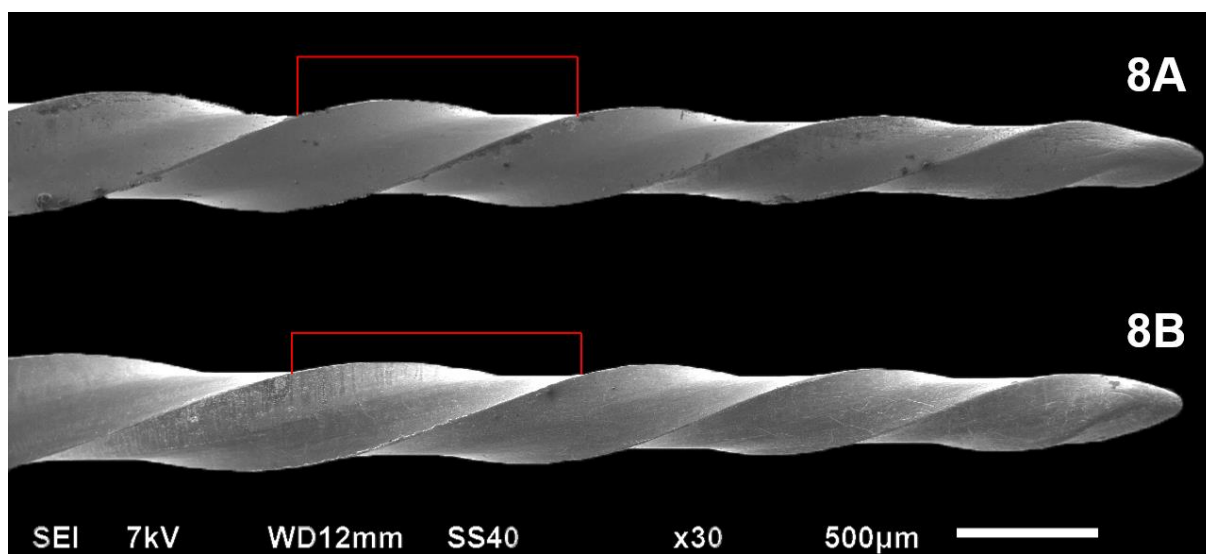


Figura 8. Mensuração do comprimento da aresta lateral de corte do instrumento Unicone® n.20, antes (8A) e depois (8B) do preparo do canal radicular simulado. A mensuração demonstra a deformação plástica no instrumento.

Tabela 5. Dimensões (µm) dos instrumentos Unicone® n.25.

Variável	Média antes do preparo	Média após o preparo	P
Área Aresta 1	17780,56	19802,78	0,077
Área Aresta 2	26574,08	30200,00	0,313
Área Núcleo	1102911,11	1086040,74	0,034
Diâmetro 0,5	268,80	272,80	0,082
Diâmetro 1,0	291,76	287,32	0,327
Diâmetro 1,5	301,12	303,90	0,516
Diâmetro 2,0	320,53	319,42	0,751
Diâmetro 2,5	348,47	351,25	0,496
Diâmetro 3,0	369,19	370,85	0,460
Diâmetro 3,5	397,25	394,50	0,385
Diâmetro 4,0	423,88	425,55	0,489
Comprimento Aresta 1	938,98	925,89	0,676
Comprimento Aresta 2	1098,74	1094,84	0,927

Unicone® n.25/.06 (Medin, Nové Město na Moravě, República Tcheca).

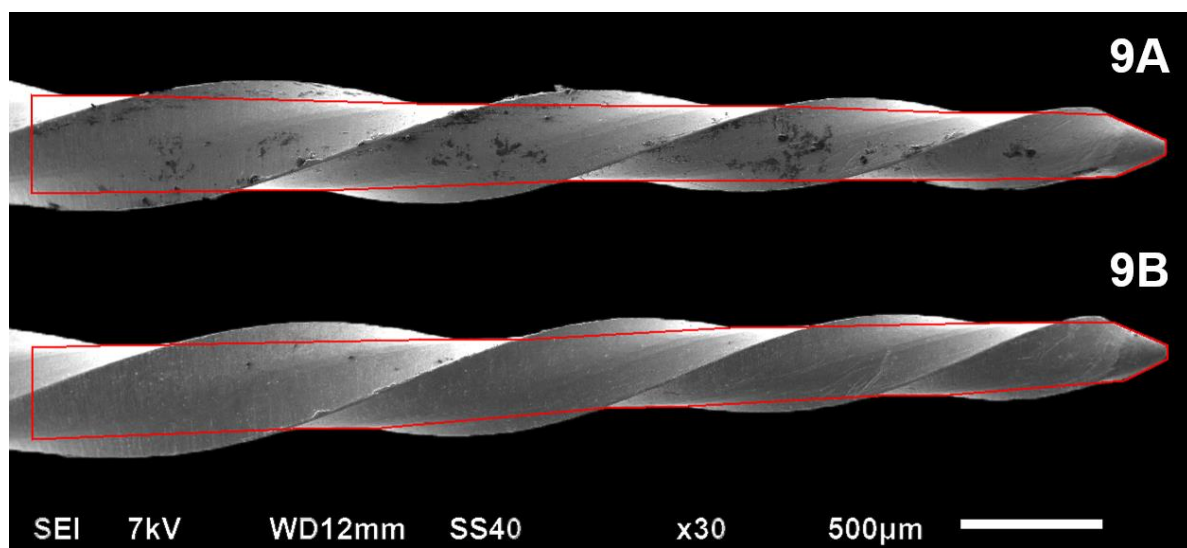


Figura 9. Delimitação da área do núcleo do instrumento Unicone® n.25, antes (9A) e depois (9B) do preparo do canal radicular simulado.

Tabela 6. Dimensões (µm) dos instrumentos Unicone® n.40.

Variável	Média antes do preparo	Média após o preparo	P
Área Aresta 1	73115,74	99125,93	0,132
Área Núcleo	1386538,89	1376334,26	0,411
Diâmetro 0,5	356,64	354,99	0,522
Diâmetro 1,0	396,14	392,83	0,538
Diâmetro 1,5	417,85	418,97	0,636
Diâmetro 2,0	450,46	439,90	0,067
Diâmetro 2,5	463,51	461,30	0,644
Diâmetro 3,0	490,51	485,74	0,603
Diâmetro 3,5	515,60	516,72	0,678
Diâmetro 4,0	541,97	523,86	0,362
Comprimento Aresta 1	1646,23	1959,14	0,123

Unicone® n.40/.06 (Medin, Nové Město na Moravě, República Tcheca).

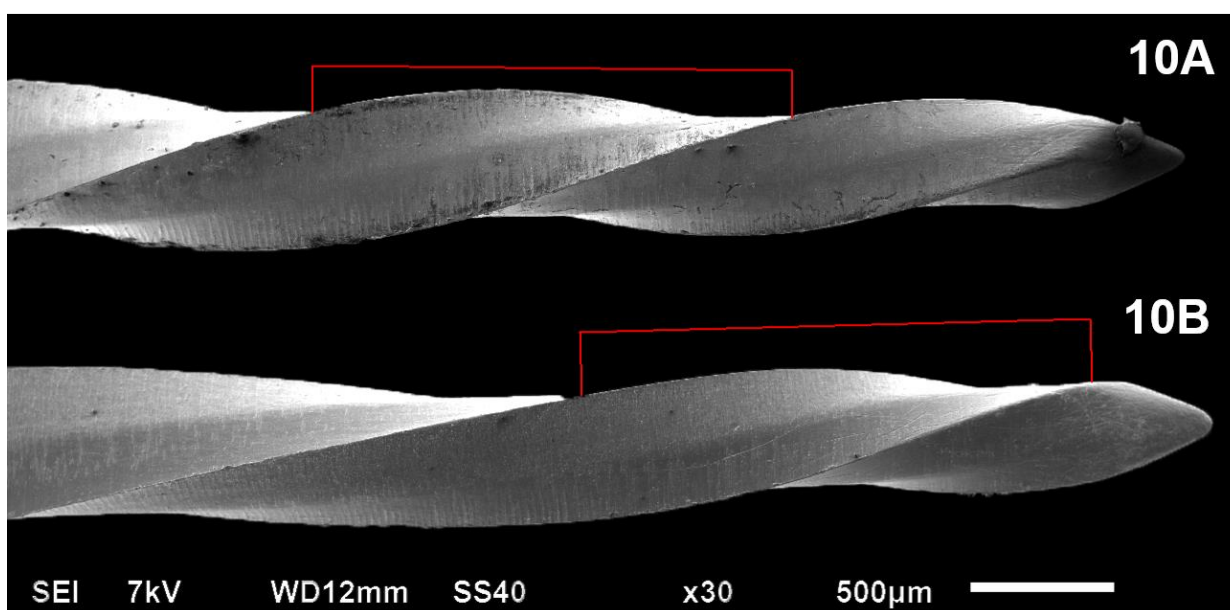


Figura 10. Mensuração do comprimento da aresta lateral de corte do instrumento Unicore® n.40, antes (10A) e depois (10B) do preparo do canal radicular simulado. Na imagem 10B foi possível a mensuração da aresta lateral de corte mais próxima à ponta devido à deformação plástica do instrumento após o preparo.

Tabela 7. Dimensões (µm) dos instrumentos WaveOne® *Small*.

Variável	Média antes do preparo	Média após o preparo	P
Área Aresta 1	11406,48	10976,77	0,565
Área Aresta 2	14763,89	14797,22	0,951
Área Aresta 3	18650,93	19164,81	0,616
Área Aresta 4	25260,19	25415,74	0,895
Área Núcleo	921743,52	915994,45	0,425
Diâmetro 0,5	223,76	228,78	0,349
Diâmetro 1,0	245,54	239,98	0,266
Diâmetro 1,5	246,68	243,35	0,403
Diâmetro 2,0	269,75	270,32	0,790
Diâmetro 2,5	302,32	300,12	0,606
Diâmetro 3,0	328,30	324,42	0,202
Diâmetro 3,5	340,65	344,00	0,522
Diâmetro 4,0	383,28	379,93	0,312
Comprimento Aresta 1	585,02	546,78	0,003
Comprimento Aresta 2	686,44	683,05	0,742
Comprimento Aresta 3	819,21	798,88	0,063
Comprimento Aresta 4	905,17	881,96	0,034

WaveOne® *Small* - n.20/.06 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça)

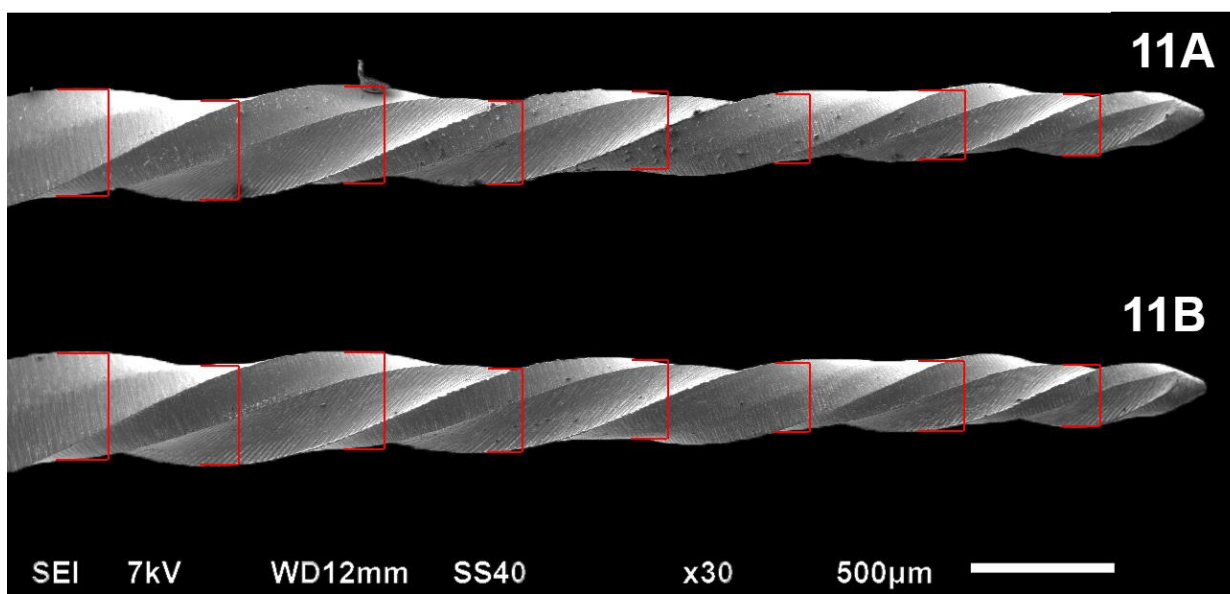


Figura 11. Mensuração do diâmetro transversal a cada 0,5mm a partir da ponta do instrumento WaveOne® Small, antes (11A) e depois (11B) do preparo do canal radicular simulado.

Tabela 8. Dimensões (µm) dos instrumentos WaveOne® Primary.

Variável	Média antes do preparo	Média após o preparo	P
Área Aresta 1	11400,00	10145,37	0,209
Área Aresta 2	16420,37	16930,56	0,715
Área Aresta 3	25245,37	25437,04	0,883
Área Núcleo	1259451,85	1264200,00	0,583
Diâmetro 0,5	263,81	266,02	0,612
Diâmetro 1,0	287,80	284,46	0,592
Diâmetro 1,5	329,50	328,37	0,858
Diâmetro 2,0	363,66	366,43	0,769
Diâmetro 2,5	391,75	391,74	1,000
Diâmetro 3,0	413,81	418,27	0,525
Diâmetro 3,5	438,80	437,69	0,867
Diâmetro 4,0	453,31	451,62	0,829
Comprimento Aresta 1	725,87	742,89	0,681
Comprimento Aresta 2	890,55	895,26	0,624
Comprimento Aresta 3	1075,96	1066,20	0,654

WaveOne® Primary n.25/.08 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça).

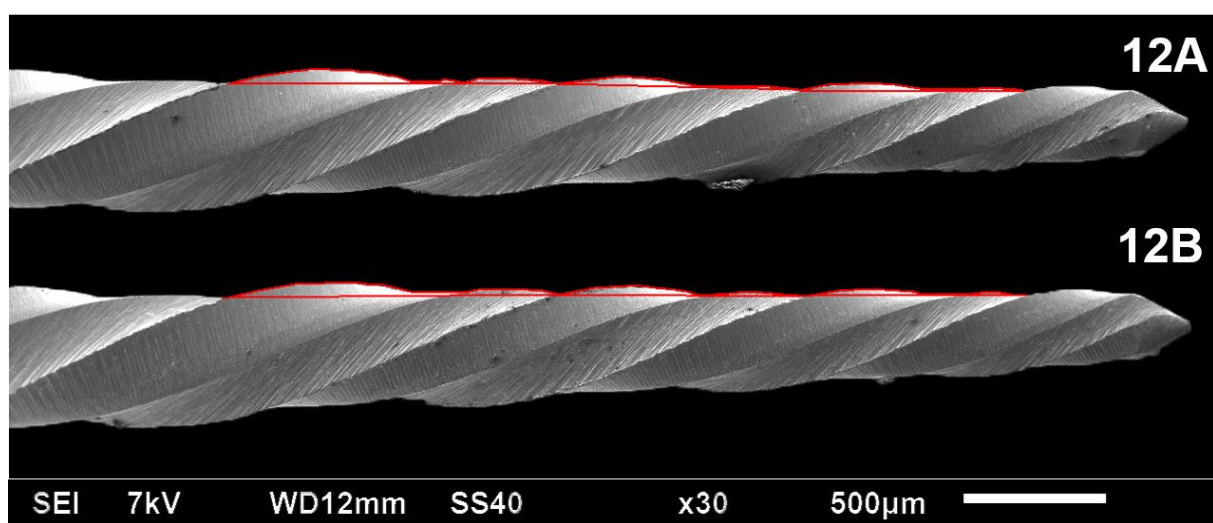


Figura 12. Delimitação das áreas das arestas laterais de corte do instrumento WaveOne® *Primary*, antes (12A) e depois (12B) do preparo do canal radicular simulado.

Tabela 9. Dimensões (µm) dos instrumentos WaveOne® *Large*.

Variável	Média antes do preparo	Média após o preparo	P
Área Aresta 1	43952,78	48920,37	0,331
Área Núcleo	1490857,41	1511757,41	0,236
Diâmetro 0,5	355,45	370,44	0,060
Diâmetro 1,0	402,95	404,06	0,871
Diâmetro 1,5	426,18	431,73	0,515
Diâmetro 2,0	467,03	451,47	0,044
Diâmetro 2,5	489,47	486,80	0,363
Diâmetro 3,0	520,00	513,85	0,473
Diâmetro 3,5	542,78	543,34	0,921
Diâmetro 4,0	571,35	564,45	0,363
Comprimento Aresta 1	1175,57	1756,72	0,234

WaveOne® *Large* n.40/.08 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça).

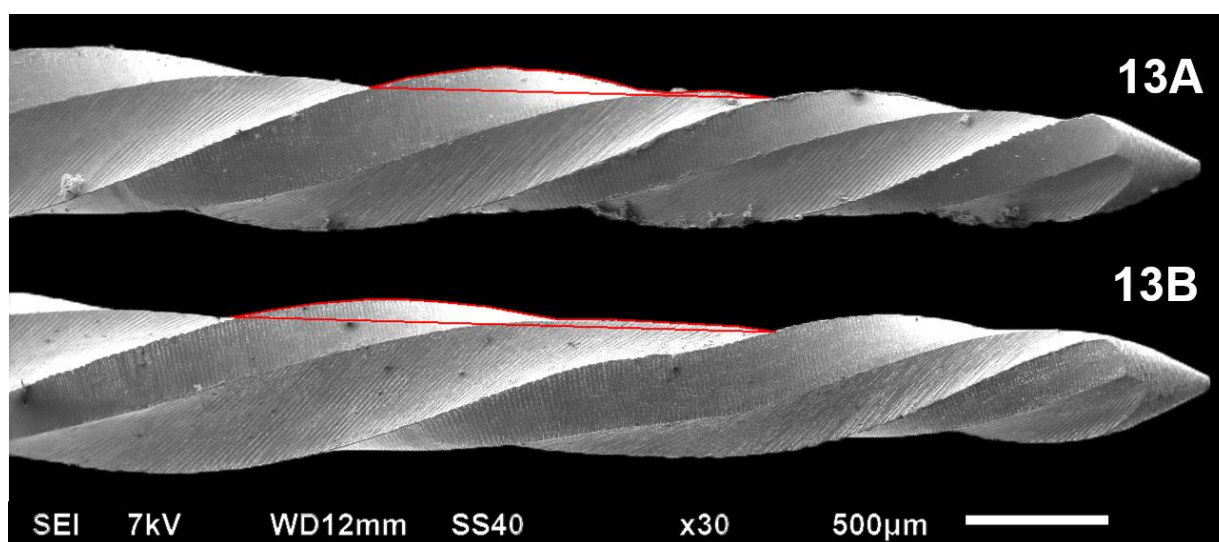


Figura 13. Delimitação da área da aresta lateral de corte do instrumento WaveOne® *Large*, antes (13A) e depois (13B) do preparo do canal radicular simulado. A mensuração demonstra a deformação plástica no instrumento.

Tabela 10. Comparação entre os instrumentos Reciproc® R25, Unicone® n. 25 e WaveOne® Primary, antes e após o uso.

Variável	Reciproc® R25 antes	Reciproc® R25 depois	Unicone n.25 antes	Unicone n.25 depois	WaveOne Primary antes	WaveOne Primary depois
Área da aresta 1	34871,30 ^A	34498,15 ^A	17780,56 ^{BC}	19802,78 ^C	11400,00 ^{BD}	10145,37 ^D
Área da aresta 2	52392,59 ^A	52155,55 ^A	26574,08 ^{BC}	30200,00 ^C	16420,37 ^D	16930,56 ^{BD}
Área do núcleo	976682,41 ^A	973281,48 ^A	1102911,11 ^B	1086040,74 ^B	1259451,85 ^C	1264200,00 ^C
Diâmetro a 0,5mm	187,00 ^A	182,52 ^A	268,80 ^B	272,80 ^B	263,81 ^B	266,02 ^B
Diâmetro a 1,0mm	299,51 ^A	294,53 ^A	291,76 ^A	287,32 ^A	287,80 ^A	284,46 ^A
Diâmetro a 1,5mm	247,18 ^A	254,41 ^A	301,12 ^B	303,90 ^B	329,50 ^C	328,37 ^C
Diâmetro a 2,0mm	357,28 ^A	333,66 ^A	320,53 ^B	319,42 ^B	363,66 ^A	366,43 ^A
Diâmetro a 2,5mm	365,02 ^A	374,43 ^A	348,47 ^A	351,25 ^A	391,75 ^A	391,74 ^A
Diâmetro a 3,0mm	365,31 ^A	364,57 ^A	369,19 ^A	370,85 ^A	413,81 ^B	418,27 ^B
Diâmetro a 3,5mm	483,86 ^A	473,77 ^A	397,25 ^B	394,50 ^B	438,80 ^C	437,69 ^C
Diâmetro a 4,0mm	401,23 ^A	419,02 ^A	423,88 ^A	425,55 ^A	453,31 ^A	451,62 ^A
Comprimento da aresta 1	1059,89 ^A	1048,20 ^A	938,98 ^B	925,89 ^B	725,87 ^C	742,89 ^C
Comprimento da aresta 2	1242,84 ^A	1226,44 ^A	1098,74 ^B	1094,84 ^B	890,55 ^C	895,26 ^C

Tabela 11. Comparação entre os instrumentos Reciproc® R40, Unicone® n. 40 e WaveOne® Large, antes e após o uso.

Variável	Reciproc® R40 antes	Reciproc® R40 depois	Unicone® n.40 antes	Unicone® n.40 depois	WaveOne® Large antes	WaveOne® Large depois
Área da aresta 1	76051,85 ^{AB}	81265,74 ^B	73115,74 ^{ABC}	99125,93 ^B	43952,78 ^C	48920,37 ^{AC}
Área do núcleo	1111100,00 ^A	1108128,70 ^A	1386538,89 ^B	1376334,26 ^B	1490857,41 ^C	1511757,41 ^C
Diâmetro a 0,5mm	288,12 ^A	355,35 ^B	356,64 ^B	354,99 ^B	355,45 ^B	370,44 ^B
Diâmetro a 1,0mm	369,05 ^B	321,80 ^B	396,14 ^A	392,83 ^A	402,95 ^A	404,06 ^A
Diâmetro a 1,5mm	380,57 ^A	384,95 ^A	417,85 ^A	418,97 ^A	426,18 ^A	431,73 ^A
Diâmetro a 2,0mm	395,66 ^A	443,41 ^{AB}	450,46 ^{AB}	439,90 ^{AB}	467,03 ^B	451,47 ^{AB}
Diâmetro a 2,5mm	445,95 ^A	378,76 ^A	463,51 ^A	461,30 ^A	489,47 ^A	486,80 ^A
Diâmetro a 3,0mm	442,44 ^A	444,16 ^A	490,51 ^{AB}	485,74 ^{AB}	520,00 ^B	513,85 ^B
Diâmetro a 3,5mm	425,39 ^A	517,03 ^B	515,60 ^B	516,72 ^B	542,78 ^B	543,34 ^B
Diâmetro a 4,0mm	516,69 ^A	502,79 ^A	541,97 ^A	523,86 ^A	571,35 ^A	564,45 ^A
Comprimento da aresta 1	1368,57 ^{AB}	1395,60 ^{AB}	1646,23 ^{BC}	1959,14 ^C	1175,57 ^A	1756,72 ^{AB}

5 DISCUSSÃO

Os instrumentos de níquel-titânio reciprocantes disponíveis no mercado apresentam diferentes características, variando seu diâmetro, conicidade e secção transversal. Essas variações podem acarretar em diferenças na resistência e comportamento mecânico desses instrumentos. No presente estudo, foram analisados três instrumentos de cada sistema (Reciproc®, WaveOne® e Unicone®), em diferentes tamanhos.

Os instrumentos Reciproc® apresentaram as maiores arestas e a maior proporção aresta lateral de corte/núcleo, enquanto os instrumentos WaveOne® apresentaram a menor relação aresta/núcleo. Os instrumentos Reciproc® não apresentaram deformações plásticas na estrutura identificáveis nas imagens de microscopia eletrônica de varredura quando considerados os três instrumentos analisados de cada sistema. Entretanto, alterações em algumas dimensões após o uso dos instrumentos foram verificadas.

Plotino *et al.* (2015) avaliaram o índice de deformações plásticas dos instrumentos Reciproc® após o uso clínico. Verificaram que a incidência de deformações foi baixa - 0,35% dos instrumentos R25 utilizados, e sem deformações para os instrumentos R40 e R50. Os resultados do presente estudo foram similares aos encontrados clinicamente, e ressaltam que os instrumentos utilizados pela rotação recíproca e de uso único são seguros para o preparo dos canais radiculares.

O instrumento Reciproc® apresenta secção transversal em forma de “S”, o instrumento WaveOne® apresenta formato “triangular com concavidades próximas à aresta de corte”, e o Unicone® apresenta forma “triangular com canais convexos”. Schafer & Tepel (2001) avaliaram as influências das

características morfológicas da secção transversal e número de arestas na resistência à fratura dos instrumentos de níquel-titânio utilizados em rotação contínua. Verificaram que para a forma em “S” da secção transversal, quanto maior o número de arestas, maior a resistência à fratura por torção e menor a resistência à fratura por flexão rotativa. Para a forma triangular da secção transversal, o número de arestas não apresentou influência na resistência à fratura por torção ou por flexão rotativa. No presente estudo, os instrumentos Reciproc® apresentaram menor número de arestas, o que pode influenciar em maior resistência à fratura por flexão rotativa, uma vez que são fabricados com secção transversal em forma de “S”. Os instrumentos WaveOne® e Unicone® apresentaram maior número de arestas no instrumento, mas devido à sua forma triangular da secção transversal, apesar das modificações, pode não resultar em maior ou menor resistência à fratura.

Entretanto, a maior área da aresta pode representar um reforço à estrutura do instrumento nesta região (BIZ & FIGUEIREDO, 2004). Nesta característica, os instrumentos Reciproc® apresentaram maior tamanho de aresta lateral de corte do que os instrumentos WaveOne® e Unicone®. Este fator pode ter contribuído para o resultado apresentado em relação às deformações plásticas, uma vez que os instrumentos do sistema Reciproc® apresentaram menor quantidade de deformações plásticas quando aplicados em canais simulados curvos.

A avaliação de resistência à fratura de instrumentos reciprocantes Reciproc® R40 e WaveOne® *Large* mostraram que o instrumento Reciproc® apresentou maior resistência à fratura por fadiga cíclica (KIM *et al.*, 2012; DEUS *et al.*, 2014). A resistência à fratura por flexão rotativa foi avaliada nos instrumentos Reciproc® R25 e WaveOne® *Primary* e indicou resultado inferior

dos instrumentos WaveOne® (HIGUERA *et al.*, 2015). Os resultados apresentados são similares aos encontrados nestes estudos, nos quais os instrumentos WaveOne® apresentaram maior alteração dimensional após o uso e dois dos três instrumentos *Large* avaliados apresentaram deformações plásticas.

Baseado no resultado do presente estudo e no conhecimento científico sobre análise estrutural de instrumentos endodônticos de estudos prévios (SCHAFFER & TEPEL, 2001; BIZ & FIGUEIREDO, 2004), sugere-se que o instrumento Reciproc® pode apresentar maior resistência à fadiga cíclica devido à sua maior aresta, tanto em área como também em comprimento, e menor núcleo. A maior área de núcleo no instrumento WaveOne® também pode levar a maior resistência à fratura por torção neste instrumento.

Plotino *et al.* (2014) avaliaram a eficiência de corte dos instrumentos Reciproc® R25 e WaveOne® *Primary*, e verificaram que o Reciproc® R25 apresentou maior eficiência de corte que o WaveOne® *Primary*. A presença de arestas de maior área, especialmente devido a sua forma de secção transversal, que apresenta apenas duas arestas laterais de corte, enquanto que a secção triangular apresenta três arestas menores, pode influenciar na maior eficiência por parte dos instrumentos do sistema Reciproc®.

Estes resultados podem influenciar na escolha do instrumento endodôntico recíprocante para cada tipo de canal. Desta forma, o profissional pode ter melhor compreensão de como as características dos instrumentos influenciam em suas propriedades, e pode assim indicar qual o melhor instrumento para cada situação clínica. Em um canal radicular com curvatura mais acentuada, o instrumento Reciproc® seria mais indicado, enquanto que em um canal radicular reto, o instrumento WaveOne® seria mais indicado. O

instrumento Unicone®, devido ao seu maior índice de deformações plásticas e alterações dimensionais, pode estar mais susceptível a falhas, e desta forma não seria o mais indicado entre os sistemas comparados neste estudo.

Entretanto, a escolha do instrumento endodôntico mais adequado deve ser baseada também em outros parâmetros. Outros fatores que afetam as propriedades de resistência dos instrumentos estão associados aos aspectos clínicos, como a morfologia do canal radicular e experiência do operador, além da forma transversal do instrumento e a cinemática à qual o instrumento é submetido (HÜLSMANN *et al.*, 2005; CHEUNG, 2009; MCGUIGAN *et al.*, 2013). O número de usos de um instrumento, apesar de influenciar em sua resistência a deformações plásticas e fraturas, não deve ser um fator decisivo na escolha do instrumento reciprocante, uma vez que dois (Reciproc® e WaveOne®) dos três sistemas avaliados não recomendam a esterilização e reutilização dos seus instrumentos.

Estudos têm demonstrado que instrumentos de níquel-titânio submetidos ao movimento reciprocante apresentam maior resistência à fadiga cíclica (DE-DEUS *et al.*, 2010; WAN *et al.*, 2011; GAVINI *et al.*, 2012; PEDULLA *et al.*, 2013). Contudo, mesmo com único uso do instrumento e com sua substituição frente à observação de qualquer deformação, a fratura pode ocorrer naturalmente (CUNHA *et al.*, 2014; PLOTINO *et al.*, 2015).

Atualmente, a liga de níquel-titânio tem passado por diferentes tratamentos térmicos que dependem de pequenas variações da composição química da liga, com intuito de melhorar suas propriedades mecânicas. Dentre estes, destaca-se aquele que utiliza a liga no estágio de reorientação de martensita, chamado M-Wire. Esta liga se caracteriza por apresenta maior flexibilidade, além de maior deformação plástica quando submetida à tensão,

mas menor chance de fratura (ZHOU *et al.*, 2013). Os instrumentos Reciproc® e WaveOne® são fabricados por M-Wire, enquanto que o Unicone® recebe também tratamento térmico, mas sua fase não é especificada pelo fabricante.

O canal radicular necessita ser ampliado dentro de limites anatômicos, independente das propriedades do instrumento ou da técnica utilizada. Na região apical dos canais radiculares de dentes permanentes, o diâmetro máximo dos canais radiculares em pré-molares a 1mm do ápice varia de 0,18mm a 0,37mm, e em molares varia de 0,19mm a 0,45mm (WU *et al.*, 2000). Ran *et al.* (2015) avaliaram a penetração de *Enterococcus faecalis* em túbulos dentinários de dentes unirradiculares preparados até instrumento de diâmetro da ponta de 0,30mm em diferentes condições. Os micro-organismos foram capazes de penetrar 435µm no interior da dentina da região apical, e mesmo em condição de pressão alcalina fraca (pH=9,0) penetraram 322µm e perto dos 100µm em pH 10. Assim, os fatores anatômicos e microbiológicos permitem direcionar a ampliação mínima com instrumentos de diâmetro inicial superior ao recomendado pelos fabricantes de instrumentos de rotação recíproca, que é D_0 igual a 0,25mm.

No presente estudo, todos os instrumentos apresentaram alterações dimensionais de forma visíveis quando utilizados em canais de D_0 igual a 0,18mm, mesmo quando insignificantes estatisticamente. Optou-se por utilizar todos os instrumentos disponíveis em canais radiculares de D_0 igual a 0,18mm e curvos para verificar e compreender as alterações dimensionais destes instrumentos após o preparo dos canais radiculares curvos. Apesar do uso em canais não recomendados pelos fabricantes, os instrumentos de n. 50 não apresentaram deformações plásticas. Já nos instrumentos de n.40, os sistemas WaveOne® e Unicone® sofreram maior quantidade de deformações plásticas

do que os demais instrumentos dos mesmos sistemas. Este achado, aliado à necessidade de ampliação dos canais radiculares além do recomendado pelo fabricante, como justificado anteriormente, e à formação de microfraturas em quantidade mais acentuada, leva à necessidade de uso de mais de um instrumento destes sistemas, em aumento contínuo, para que se tenha maior segurança quanto a ocorrência de deformações plásticas e a possível fratura dos mesmos, assim como obter o melhor preparo do canal radicular. A região mais próxima à ponta (4mm) dos instrumentos foi escolhida para ser estudada por ser onde ocorre o maior número de fraturas no instrumento (CUNHA *et al.*, 2014) e de microfraturas na dentina (BURKLEIN *et al.*, 2013; ARIAS *et al.*, 2014; JAMLEH *et al.*, 2015; KARATAS *et al.*, 2015).

O uso de canais simulados permitiu uma padronização do diâmetro do canal radicular em toda a sua extensão. Apesar das limitações inerentes ao uso de canais simulados, os resultados do trabalho se mostraram similares a estudos prévios (SCHAFER & TEPEL, 2001; KIM *et al.*, 2012; PLOTINO *et al.*, 2012; DE-DEUS *et al.*, 2014; HA *et al.*, 2015; HIGUERA *et al.*, 2015, PLOTINO *et al.*, 2015).

Os métodos utilizados no presente estudo se mostraram complementares na detecção de deformações plásticas dos instrumentos endodônticos. Algumas deformações plásticas, apesar de visíveis pelo aumento em microscopia eletrônica de varredura, não foram detectadas pela mensuração devido ao posicionamento da superfície externa do instrumento, resultando em valor de área ou linear próximo do aferido antes do uso do instrumento. Por outro lado, as mensurações são úteis na detecção de alterações morfológicas menos evidentes visualmente.

O software AxioVision®, utilizado em estudo anterior (MACHADO *et al.*, 2013), permitiu a delimitação externa destas áreas com precisão, e o aumento de 30x se mostrou efetivo tanto para as mensurações com precisão, como também para a visualização de deformações plásticas nos instrumentos. Biz & Figueiredo (2004) demonstraram que o aumento de 60X era preciso para a mensuração das superfícies desgastadas da aresta lateral de corte e do núcleo, e que este método era efetivo para se obter a relação entre as duas mensurações. O aumento de 30X permitiu a mensuração das estruturas morfológicas analisadas presentes nos 4mm iniciais a partir da ponta do instrumento.

A análise da estrutura dos instrumentos deve ser bem estudada, uma vez que pode influenciar diretamente no comportamento mecânico durante o preparo do complexo sistema de canais radiculares. As características estudadas indicam que os instrumentos endodônticos Reciproc® devem apresentar maior flexibilidade, com maior resistência à fratura por flexão rotativa. Já os instrumentos WaveOne® devem apresentar menor flexibilidade e maior resistência no núcleo do instrumento, com maior resistência à fratura por torção.

Novos estudos devem ser realizados com intuito de compreender melhor o comportamento mecânico dos instrumentos reciprocantes e como que o desenho e dimensões destes instrumentos podem influenciar em suas propriedades quando em função.

6 CONCLUSÕES

Todos os instrumentos reciprocantes avaliados apresentaram alterações dimensionais após o preparo de canais radiculares simulados curvos. Os instrumentos Reciproc® apresentaram as maiores arestas laterais de corte em área e comprimento e os menores núcleos, quando comparados aos instrumentos Unicone® e WaveOne® de tamanho similar. Os instrumentos Unicone® mostraram a maior quantidade de deformações plásticas por meio de microscopia eletrônica de varredura. Maiores dimensões de aresta lateral de corte e menores dimensões de núcleo apresentaram menor número de deformações plásticas após preparo de canais radiculares simulados curvos.

REFERÊNCIAS

- ARIAS, A.;LEE, Y. H.;PETERS, C. I.;GLUSKIN, A. H.;PETERS, O. A. Comparison of 2 canal preparation techniques in the induction of microcracks: a pilot study with cadaver mandibles. **J Endod**, v. 40, n. 7, p. 982-5, 2014.
- BIZ, M. T.; FIGUEIREDO, J. A. Morphometric analysis of shank-to-flute ratio in rotary nickel-titanium files. **Int Endod J**, v. 37, n. 6, p. 353-8, 2004.
- BURKLEIN, S.;TSOTSIS, P.;SCHAFER, E. Incidence of dentinal defects after root canal preparation: reciprocating versus rotary instrumentation. **J Endod**, v. 39, n. 4, p. 501-4, 2013.
- CHEUNG, G. S. P. Instrument fracture: mechanisms, removal of fragments, and clinical outcomes. **ETP Endodontic Topics**, v. 16, n. 1, p. 1-26, 2009.
- CUNHA, R. S.;JUNAID, A.;ENSINAS, P.;NUDERA, W.;BUENO, C. E. Assessment of the separation incidence of reciprocating WaveOne files: a prospective clinical study. **J Endod**, v. 40, n. 7, p. 922-4, 2014.
- DE-DEUS, G.;MOREIRA, E. J.;LOPES, H. P.;ELIAS, C. N. Extended cyclic fatigue life of F2 ProTaper instruments used in reciprocating movement. **Int Endod J**, v. 43, n. 12, p. 1063-8, 2010.
- DE-DEUS, G.;ARRUDA, T. E.;SOUZA, E. M.;NEVES, A.;MAGALHAES, K.;THUANNE, E.;FIDEL, R. A. The ability of the Reciproc R25 instrument to reach the full root canal working length without a glide path. **Int Endod J**, v. 46, n. 10, p. 993-8, 2013.
- DE-DEUS, G.;LEAL VIEIRA, V. T.;NOGUEIRA DA SILVA, E. J.;LOPES, H.;ELIAS, C. N.;MOREIRA, E. J. Bending resistance and dynamic and static cyclic fatigue life of Reciproc and WaveOne Large instruments. **J Endod**, v. 40, n. 4, p. 575-9, 2014.
- ESTRELA, C.;HOLLAND, R.;ESTRELA, C. R.;ALENCAR, A. H.;SOUSA-NETO, M. D.;PECORA, J. D. Characterization of successful root canal treatment. **Braz Dent J**, v. 25, n. 1, p. 3-11, 2014.
- FRANK, A. L. An evaluation of the Giromatic endodontic handpiece. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol**, v. 24, n. 3, p. 419-21, 1967.
- GAVINI, G.;CALDEIRA, C. L.;AKISUE, E.;CANDEIRO, G. T.;KAWAKAMI, D. A. Resistance to flexural fatigue of Reciproc R25 files under continuous rotation and reciprocating movement. **J Endod**, v. 38, n. 5, p. 684-7, 2012.
- HA, J. H.;KIM, S. R.;VERSLUIS, A.;CHEUNG, G. S.;KIM, J. W.;KIM, H. C. Elastic limits in torsion of reciprocating nickel-titanium instruments. **J Endod**, v. 41, n. 5, p. 715-9, 2015.

HAAPASALO, M.; SHEN, Y. Evolution of nickel-titanium instruments: from past to future. **ETP Endodontic Topics**, v. 29, n. 1, p. 3-17, 2013.

HIGUERA, O.; PLOTINO, G.; TOCCI, L.; CARRILLO, G.; GAMBARINI, G.; JARAMILLO, D. E. Cyclic fatigue resistance of 3 different nickel-titanium reciprocating instruments in artificial canals. **J Endod**, v. 41, n. 6, p. 913-5, 2015.

HÜLSMANN, M.; PETERS, O. A.; DUMMER, P. M. H. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. **Endodontic Topics**, v. 10, n. 1, p. 30-76, 2005.

JAMLEH, A.; KOMABAYASHI, T.; EBIHARA, A.; NASSAR, M.; WATANABE, S.; YOSHIOKA, T.; MIYARA, K.; SUDA, H. Root surface strain during canal shaping and its influence on apical microcrack development: a preliminary investigation. **Int Endod J**, v. 48, n. 12, p. 1103-11, 2015.

JIN, S. Y.; LEE, W.; KANG, M. K.; HUR, B.; KIM, H. C. Single file reciprocating technique using conventional nickel-titanium rotary endodontic files. **Scanning**, v. 35, n. 6, p. 349-54, 2013.

KARATAS, E.; GUNDUZ, H. A.; KIRICI, D. O.; ARSLAN, H.; TOPCU, M. C.; YETER, K. Y. Dentinal crack formation during root canal preparations by the twisted file adaptive, ProTaper Next, ProTaper Universal, and WaveOne instruments. **J Endod**, v. 41, n. 2, p. 261-4, 2015.

KIEFNER, P.; BAN, M.; DE-DEUS, G. Is the reciprocating movement per se able to improve the cyclic fatigue resistance of instruments? **Int Endod J**, v. 47, n. 5, p. 430-6, 2014.

KIM, H. C.; KWAK, S. W.; CHEUNG, G. S.; KO, D. H.; CHUNG, S. M.; LEE, W. Cyclic fatigue and torsional resistance of two new nickel-titanium instruments used in reciprocation motion: Reciproc versus WaveOne. **J Endod**, v. 38, n. 4, p. 541-4, 2012.

LIU, S. B.; FAN, B.; CHEUNG, G. S.; PENG, B.; FAN, M. W.; GUTMANN, J. L.; SONG, Y. L.; FU, Q.; BIAN, Z. Cleaning effectiveness and shaping ability of rotary ProTaper compared with rotary GT and manual K-Flexofile. **Am J Dent**, v. 19, n. 6, p. 353-8, 2006.

LOPES, H. P.; ELIAS, C. N.; ESTRELA, C.; SIQUEIRA, J. F., JR. Assessment of the apical transportation of root canals using the method of the curvature radius. **Braz Dent J**, v. 9, n. 1, p. 39-45, 1998.

LOPES, H. P.; ELIAS, C. N.; VIEIRA, V. T.; MOREIRA, E. J.; MARQUES, R. V.; DE OLIVEIRA, J. C.; DEBELIAN, G.; SIQUEIRA, J. F., JR. Effects of electropolishing surface treatment on the cyclic fatigue resistance of BioRace nickel-titanium rotary instruments. **J Endod**, v. 36, n. 10, p. 1653-7, 2010.

LOPES, H. P.; ELIAS, C. N.; AMARAL, G.; VIEIRA, V. T.; MOREIRA, E. J.; MANGELLI, M.; SIQUEIRA, J. F., JR. Torsional properties of pathfinding

instruments. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v. 112, n. 5, p. 667-70, 2011.

LOPES, H. P.;ELIAS, C. N.;VIEIRA, M. V.;SIQUEIRA, J. F., JR.;MANGELLI, M.;LOPES, W. S.;VIEIRA, V. T.;ALVES, F. R.;OLIVEIRA, J. C.;SOARES, T. G. Fatigue Life of Reciproc and Mtwo instruments subjected to static and dynamic tests. **J Endod**, v. 39, n. 5, p. 693-6, 2013.

MACHADO, R.;SILVA NETO, U. X.;IGNACIO, S. A.;CUNHA, R. S. Lack of correlation between obturation limits and apical leakage. **Braz Oral Res**, v. 27, n. 4, p. 331-5, 2013.

MCGUIGAN, M. B.;LOUCA, C.;DUNCAN, H. F. Endodontic instrument fracture: causes and prevention. **Br Dent J**, v. 214, n. 7, p. 341-8, 2013.

PEDULLA, E.;GRANDE, N. M.;PLOTINO, G.;GAMBARINI, G.;RAPISARDA, E. Influence of continuous or reciprocating motion on cyclic fatigue resistance of 4 different nickel-titanium rotary instruments. **J Endod**, v. 39, n. 2, p. 258-61, 2013.

PETERS, O. A.;BARBAKOW, F.;PETERS, C. I. An analysis of endodontic treatment with three nickel-titanium rotary root canal preparation techniques. **Int Endod J**, v. 37, n. 12, p. 849-59, 2004.

PLOTINO, G.;GRANDE, N. M.;TESTARELLI, L.;GAMBARINI, G. Cyclic fatigue of Reciproc and WaveOne reciprocating instruments. **Int Endod J**, v. 45, n. 7, p. 614-8, 2012.

PLOTINO, G.; RUBINI, A. G.; GRANDE, N. M., TESTARELLI, L., GAMBARINI, G. Cutting efficiency of Reciproc and Waveone reciprocating instruments. **J Endod**, v. 40, n. 8, p. 1228-30, 2014.

PLOTINO, G.;GRANDE, N. M.;PORCIANI, P. F. Deformation and fracture incidence of Reciproc instruments: a clinical evaluation. **Int Endod J**, v. 48, n. 2, p. 199-205, 2015.

RAN, S.;WANG, J.;JIANG, W.;ZHU, C.;LIANG, J. Assessment of dentinal tubule invasion capacity of Enterococcus faecalis under stress conditions ex vivo. **Int Endod J**, v. 48, n. 4, p. 362-72, 2015.

SCHAFER, E.; TEPEL, J. Relationship between design features of endodontic instruments and their properties. Part 3. Resistance to bending and fracture. **J Endod**, v. 27, n. 4, p. 299-303, 2001.

SCHILDER, H. Cleaning and shaping the root canal. **Dent Clin North Am**, v. 18, n. 2, p. 269-96, 1974.

SHEN, Y.;ZHOU, H. M.;ZHENG, Y. F.;PENG, B.;HAAPASALO, M. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. **J Endod**, v. 39, n. 2, p. 163-72, 2013.

SHIN, C. S.;HUANG, Y. H.;CHI, C. W.;LIN, C. P. Fatigue life enhancement of NiTi rotary endodontic instruments by progressive reciprocating operation. **Int Endod J**, v. 47, n. 9, p. 882-8, 2014.

SPYROPOULOS, S.;ELDEEB, M. E.;MESSER, H. H. The effect of Giromatic files on the preparation shape of severely curved canals. **Int Endod J**, v. 20, n. 3, p. 133-42, 1987.

WALIA, H. M.;BRANTLEY, W. A.;GERSTEIN, H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. **J Endod**, v. 14, n. 7, p. 346-51, 1988.

WAN, J.;RASIMICK, B. J.;MUSIKANT, B. L.;DEUTSCH, A. S. A comparison of cyclic fatigue resistance in reciprocating and rotary nickel-titanium instruments. **Aust Endod J**, v. 37, n. 3, p. 122-7, 2011.

WANG, N. N.;GE, J. Y.;XIE, S. J.;CHEN, G.;ZHU, M. Analysis of Mtwo rotary instrument separation during endodontic therapy: a retrospective clinical study. **Cell Biochem Biophys**, v. 70, n. 2, p. 1091-5, 2014.

WU, M. K.;R'ORIS, A.;BARKIS, D.;WESSELINK, P. R. Prevalence and extent of long oval canals in the apical third. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v. 89, n. 6, p. 739-43, 2000.

YARED, G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. **Int Endod J**, v. 41, n. 4, p. 339-44, 2008.

ZHOU, H.; PENG, B.; ZHENG, Y. F. An overview of the mechanical properties of nickel-titanium endodontic instruments **Endodontic Topics**, v. 29, n. 1, p. 42-54, 2013.

FLUTE AND SHANK DIMENSIONAL CHARACTERIZATION OF RECIPROCATING INSTRUMENTS BEFORE AND AFTER SIMULATED ROOT CANAL SHAPING

CARACTERIZAÇÃO DA ARESTA LATERAL DE CORTE E NÚCLEO DE INSTRUMENTOS RECIPROCANTE ANTES E APÓS O PREPARO DE CANAIS SIMULADOS

Felipe Cavalcanti SAMPAIO¹, Ana Paula Pedroso BRITO¹, Heloisa Helena Pinho VELOSO², Ana Helena Gonçalves de ALENCAR³, Daniel de Almeida DECURCIO³, José Antônio Poli de FIGUEIREDO⁴, Carlos ESTRELA³.

¹ Department of Endodontics, School of Dentistry, Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos, Porto Nacional, Tocantins, Brazil.

² Department of Endodontics, School of Dentistry, Federal University of Paraíba, João Pessoa, Paraíba, Brazil.

³ Department of Stomatological Sciences, School of Dentistry, Federal University of Goiás, Goiânia, Goiás, Brazil.

⁴ Clinical Department, School of Dentistry, Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil.

Corresponding author:

Carlos Estrela – Faculdade de Odontologia da UFG - Av. Universitária esquina com 1ª Avenida s/n, Setor Universitário; 74605-220; Goiânia - Goiás – Brazil;

e-mail: estrela3@terra.com.br

ABSTRACT

Objective: The purpose of the present study was to analyze the influence of flute and shank dimensions present at the first 4mm to occurrence of plastic deformations and dimensional alterations in reciprocating instruments after RCP. **Methodology:** The reciprocating instruments used were Reciproc® R25, R40 and R50, WaveOne® Small, Primary and Large, Unicone® #20, #25 and #40. Scanning electron microscopy images were obtained of the first 4mm from the instrument's tip (30X magnification) before and after shaping of simulated curved root canals. The instruments were used only once. The images were transferred to software AxioVision® to measure the instruments: flute area (μm^2), shank area (μm^2), flute longitudinal length (μm) and instrument transversal diameter (μm). The difference of data before and after root canal preparation (RCP) was compared by Students' T test for paired samples and differences between instruments of similar sizes was performed by ANOVA followed by Tukey's test. The instruments were classified for the plastic deformations presence after RCP. **Results:** Reciproc® instruments showed larger flutes and smaller shanks. The Reciproc® R40 showed significant difference for transversal diameter at 0.5mm from the tip. Reciproc® had no plastic deformations. Unicone® instruments showed significant differences on #20 instruments for transversal diameter at 1.5 and 3.0mm from the tip, and instrument #25 had difference at 1.5 and 3.0mm and second and third flute longitudinal length. Plastic deformations were visualized on one instrument #20m and on three #40. WaveOne® instruments showed significant differences for first and fourth flutes length of WaveOne® Primary, and transversal diameter at 2.0mm from the tip of WaveOne® Large. Plastic deformations were present in two of three Large instruments. **Conclusions:** In summary, Reciproc® instruments had greater area and length of flutes and smaller shanks compared to Unicone® and WaveOne® of similar sizes. Reciproc® showed greater flute to shank ratio. WaveOne® had the lowest flute to shank ratio. Unicone® instruments showed more plastic deformations. Higher flutes and lesser shanks had less plastic deformations after curved RCP.

Keywords: Plastic deformations, flute, reciprocating instruments, endodontic instruments, root canal preparation.

INTRODUCTION

Root canal disinfection is based upon cleanliness and microbial control, regardless of the pulp clinical condition (1). Cleaning and shaping includes irrigation strategies added by mechanic action of endodontic instruments. The root canal perfectly shaped represents a refined standard for perfect endodontic and coronal sealing (2).

A challenge to the endodontist is directly associated to the instrument used. Curved RCP using a non-flexible instrument is complex and aggregate difficulties to maintain original shape and position of apical foramen, especially during enlargement to adequate diameters according to root canal anatomy (3,4).

Thus, the need of a flexible instrument stimulates new studies of nickel-titanium (NiTi) alloy. NiTi instruments showed largely superior flexibility than stainless steel instruments (5). These instruments advance, manufacturing process and characteristics of use allowed to safely shape the root canal using continuous rotation (6). However, plastic deformations can appear during RCP and even be responsible for the instrument fracture. This may be one of the major problems during root canal preparation (7). The need to improve the NiTi instruments introduced different morphologic structures, transversal sections (8), surface treatment (9), and thermal treatments (10).

The reciprocating motion was recently introduced associated to NiTi instruments (11). Since the 60's there was a motor able to perform this motion for RCP. The motor performed quarter turn clockwise followed by quarter turn counterclockwise (12). This motion did not present greater benefit for the instruments available at the time compared to manual preparation (13).

The reciprocating motion for NiTi instruments performs a counterclockwise movement and, before the complete rotation, performs a shorter clockwise movement. This cinematics provides an advance to reduce fracture of NiTi instruments (11,14). Comparative studies showed reciprocating motion enhances cyclic fatigue resistance, as avoids bending of the instruments tip at root canal walls, enhancing resistance to torsional fracture (14-22). Another advantage is the thermal treatment during manufacturing process. This treatment is linked to small chemical composition changes and aims to improve mechanical properties. The reciprocating instruments are at most manufactured at martensite reorientation (MR) stage. This alloy improves flexibility and reduces instrument failure (23).

Reciprocating instruments deformed and fractured despite these advantages. A study evaluated 1696 Reciproc® instruments used clinically and found fractured (0.47%)

and deformed (0.35%) R25 instruments used only once (24). Another clinical study evaluated fracture of 2215 WaveOne® instruments used only once and found three fractured instruments at apical third (25).

Instruments mechanical behavior during RCP might affect the tooth and influence endodontic treatment prognosis. Several studies highlight microcracks developed mostly in apical third after RCP using reciprocating instruments (22-25).

The morphological features of the active part design may influence the resistance and mechanical behavior of endodontic instruments (26-29). Biz & Figueiredo (30) evaluated the relation between flute and shank dimensions at first, third and fifth flute area of ProFile .04, ProFile .06, Pow-R .02, Pow-R .04 and Quantec 2000 instruments. Shank-to-flute ratio showed proportional for all the instruments. Quantec 2000 showed larger flute compared to the other instruments, which could provide a structure reinforcement at this site of the instrument.

Due to the availability of several instruments types, the professional should consider each instrument characteristics and how they influence the mechanical behavior to choose the instrument used for each clinical situation. Since the available instruments have different flutes and shanks designs and dimensions, it is opportune to evaluate the influence of these parameters to the occurrence of deformations in the available endodontic reciprocating instruments. The purpose of the present study was to analyze the influence of flute and shank dimensions present at the first 4mm to occurrence of plastic deformations and dimensional alterations in reciprocating instruments after RCP.

METHODOLOGY

Sample selection

The flute and shank dimensional analysis was performed in reciprocating instruments of different tapers and origins: Reciproc® R25 - #25/.08, R40 - #40/.06, e R50 - #50/.05 (VDW, Munich, Germany); Unicone® #20/.06, #25/.06, #40/.06 (Medin, Nové Město na Moravě, Czech Republic); WaveOne® *Small* - #21/.06, *Primary* - #25/.08, *Large* - #40/.08 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland). Three instruments of each type were used (n=27).

Images acquisition before RCP

The samples (reciprocating instruments without use) were fixed in 5.5cm diameter stubs. The surface images of each instrument was acquired by Scanning Electron Microscopy (Jeol, JSM – 6610, Tokyo, Japan). The images were acquired (30X magnification and 7kV tension) of the first 4mm from the tip of the instrument at two positions: A – plane face (concave) of the rod; and B – convex face of the rod (LabMic, Federal University of Goiás, GO, Brazil).

Root Canal Preparation

The instruments were cleaned at running water and then put at ultrasonic bowl for 3 min, and dried with clean and sterile gauze. Twenty-seven simulated and standardized (0,18mm in apical limit and 15mm of length) curved root canals (IM do Brasil Ltda., São Paulo – SP, Brazil) were used for RCP. The simulated root canals were irrigated with 5mL of 2.5% sodium hypochlorite during RCP. Root canals were prepared with single instrument and the use of electric motor X-Smart Plus® (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland). The “Reciproc” program was used for Reciproc® instruments, and “WaveOne” program was used for WaveOne® and Unicone® instruments. The “WaveOne” program was selected for Unicone® instruments because this system presents instruments of similar numbers to WaveOne®, and the absence of a specific program for Unicone® instruments in X-Smart Plus®. After RCP, the instruments were cleaned following the method previously described.

Images acquisition after RCP

The samples were fixed in stubs and the images were acquired by scanning electron microscopy from the instruments tip. The images had 30X magnification and 7kV tension (LabMic, UFG), as previously described.

Analysis of scanning electron microscopy images

Scanning electron microscopy images were transferred to the software AxioVision® (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Germany) to analyze instruments dimensions. The instruments analysis included the presence of plastic deformations – shape changes at instrument active part, characterized by deformation of instruments flutes (27) – after use compared to its image before use. Dimensional analysis started at flute area delimitation. This comprehended external delimitation, using as longitudinal limits the touchpoint between the measured flute and the upper and lower helical canals

(Figure 1A). The flutes measured were positioned in the superior part of the image as standardization, and had to be completely present into the 4mm from the tip of the instrument (μm^2). The shank area measured was present into the 4mm from the tip. The same points used to delimitate the flute area were used as the lateral limits to measure the shank area. The lower limit was the instrument tip and the upper limit was at 4mm from the tip (Figure 1B).

In addition to these measures, the flute length was verified. It was delimited by the touchpoints between flutes and the upper and lower helical canals (Figure 1C). The unit of measure was micrometers (μm). The instrument diameter was measured at 0.5mm, 1mm, 1.5mm, 2mm, 2.5mm, 3mm, 3.5mm and 4mm from the tip (μm) (Figure 1D).

Statistical analysis

The data of instruments surface plastic deformations were descriptively analyzed by frequency tables of instruments with plastic deformations. The number of deformations and their characteristics were not analyzed, only how many instruments presented plastic deformations after use.

The measurements data were compared before and after use by paired analysis. Student's T test was used to analyze the paired samples.

Instruments number #25 (Reciproc R25, Unicone #25 and WaveOne Primary) and #40 (Reciproc R40, Unicone #40 and WaveOne Large) were compared between the systems by Analysis of Variances (ANOVA) and Tukey's test.

RESULTS

SEM images revealed plastic deformations in the endodontic instruments flutes in one Unicone® #20 instrument, three Unicone® #40 instruments and 2 WaveOne® Large Instruments. The measurements identified structural alterations after RCP. Reciproc® instruments showed larger flutes and smaller shanks. Only Reciproc® R40 instruments showed significant differences for transversal diameter at 0.5mm from the instrument tip ($P<0.05$). Unicone® #20 instruments presented significant differences ($P<0.05$) in transversal diameter at 1.5 and 3mm from the tip, and at second and third flute length. Unicone® #25 showed significant difference at shank area after use. WaveOne® Primary instruments presented significant differences for first and fourth flute length. WaveOne® Large had significant differences after RCP at transversal

diameter at 2mm from the tip. The other measurements did not present significant differences. Comparisons between instruments #25 (Reciproc® R25, Unicone® #25 and WaveOne® Primary) did not showed significant difference before and after RCP for all the instruments for transversal diameter at 1.0mm, 2.5mm and 4mm from the instrument tip (Table 1). Comparisons between #40 instruments (Reciproc® R40, Unicone® #40 and WaveOne® Large) did not showed significant difference before and after RCP for all the instruments for transversal diameter at 1.5mm, 2.5mm and 4mm from the instrument tip (Table 2).

DISCUSSION

The available reciprocating instruments (Reciproc®, WaveOne® and Unicone®) showed different characteristics considering diameter, taper and transversal section. These variations may result in different resistance and mechanical behavior. Reciproc® instruments had larger flutes and higher flute/shank ratio, while WaveOne® instruments lower flute/shank ratio. Reciproc® instruments had no structural plastic deformations considered the three analyzed sizes. However, some dimensions showed variation after RCP. These results are similar to a clinical study (24) and enhance reciprocating instruments used once are safe to RCP.

Reciproc® instruments are S-shaped, WaveOne® are triangular with concavities near flute and Unicone® are triangular with convex helical canals. Schafer & Tepel (34) evaluated the influence of cross-sectional shapes and number of flutes on fracture of rotary NiTi instruments. S-shaped instruments had higher resistance to torsional fracture and lower resistance to cyclic fatigue as higher the number of flutes. The number of flutes did not influence the resistance to fracture of triangular-shaped instruments. The present study showed Reciproc® had less flutes, and this could enhance resistance to cyclic fatigue, once they are S-shaped. WaveOne® and Unicone® had more flutes, but this may not influence resistance to fracture, since those instruments have triangular shape with variations.

However, a higher flute area could represent a structural reinforcement at this site (30). Reciproc® had higher flutes than WaveOne® and Unicone®. This finding may have contributed for the results of plastic deformations, since Reciproc® had less plastic deformations after curved RCP.

Fracture resistance evaluation of Reciproc® R40 and WaveOne® Large showed that Reciproc® instrument had higher resistance to cyclic fatigue (18,35). Cyclic fatigue

evaluation of Reciproc® R25 and WaveOne® Primary indicated worse result of WaveOne® instruments (36). The results of the present study were similar to those studies, as WaveOne® instruments had higher dimensional alterations after use and two of three Large instruments had plastic deformations.

The results of this study and the scientific knowledge about endodontic instruments structural analysis (30,34) suggest Reciproc® might have higher resistance to cyclic fatigue due to its larger area and length of the flute and lesser shank. The larger shank of WaveOne® should provide higher resistance to torsional fracture.

Plotino *et al.* (37) evaluated cutting efficiency of Reciproc® R25 and WaveOne® Primary and showed Reciproc® R25 had higher cutting efficiency than WaveOne® Primary. The presence of a larger flute may contribute to the higher cutting efficiency of Reciproc®, especially associated to its cross-sectional shape.

These results may influence the instrument choice for each root canal type. Thus, the professional could have a better comprehension of how the instruments morphological characteristics may influence its properties, and indicate the better instrument for the better clinical situation. A highly curved root canal should be more safely shaped using Reciproc®, while WaveOne® should provide better results for a straight root canal. Unicone® could be more susceptible to failures due to more plastic deformations and dimensional differences found and should not be the more indicated system of the evaluated instruments.

However, the proper endodontic instrument selection should consider other characteristics. Several features alter the resistance properties of an instrument and are related to clinical aspects as root canal morphology, operator experience, instrument transversal section and the conducted kinematics (31-33). The number of uses should not be a key factor on instrument choice. Despite the influence on plastic deformations and fractures, two evaluated systems (Reciproc® and WaveOne®) does not recommend sterilization and reuse of the instruments.

Currently, nickel-titanium alloy has undergone different heat treatments based on small variations in the chemical composition, in order to improve its mechanical properties. Among these, the alloy in the martensite reorientation stage, called M-Wire, is characterized by greater flexibility when subjected to stress and less likely to fracture (23). The Reciproc® and WaveOne® instruments are manufactured by M-Wire, while Unicone® also receives heat treatment, but its phase is not specified by the

manufacturer. The use of M-Wire should provide a safer RCP with the use of these reciprocating systems.

The root canal must be expanded within anatomical limits, regardless of the instrument properties or applied technique. The root canal apical third of permanent teeth have maximum diameter of premolars at 1mm from the apex of 0.18-0.37mm, and molars of 0.19-0.45mm (38). Ran *et al.* (39) evaluated the penetration of *Enterococcus faecalis* in dentinal tubules of single-root teeth prepared to #30 instruments in different conditions. The microorganisms penetrated 435µm into the dentine of the apical third, 322µm even at low-alkaline pressure (pH=9.0) and penetrated 100µm at pH 10. The anatomical and microbiological features allow to orientate the minimal enlargement of apical third with instruments of higher diameter than the manufacturer's specification for reciprocating instruments ($D_0=0.25\text{mm}$).

The present study showed all the instruments had dimensional changes after preparation of a root canal of $D_0=0.18\text{mm}$, even if statistically insignificant. The instruments were used in curved root canals of the same D_0 (0.18mm) to verify and understand the dimensional alterations of these instruments after RCP. Despite using the instruments in non-recommended root canals, instruments #50 did not show plastic deformations. Instruments #40 of WaveOne® and Unicone® than the other instruments of the same systems. This findings, the need to enlarge the root canal more than recommended by the manufacturers, as explained above, and the occurrence of microfractures in sharper amount leads to the need to use more than one instrument of reciprocating systems, in continuous increase, so it has greater safety on the occurrence of plastic deformations and possible instruments fracture, as well as get the best root canal preparation. We chose the instruments region closer to the tip (4mm) as it is where most instruments fractures (25) and dentinal microcracks (26-29) happen.

Simulated root canals allowed to standardize the root canal diameter along its entire length. The results of this study showed similarity to previously published studies, despite limitations of simulated root canals (18,24,34-36,40,41).

The method used in this study proved complementary in detecting plastic deformations of endodontic instruments. Some plastic deformations were not detected by measuring the dimensions due to the position of external surface, but were visible by the SEM magnification. This resulted in an area or linear value close to the assessed before RCP. On the other hand, measurements were useful to detect morphological alterations less evident to the eye.

AxioVision® software was used in a previous study (42) and allowed external delimitation of areas with accuracy. The 30X magnification was effective for accurate measurements and to visualize instruments plastic deformations. Biz & Figueiredo (30) proved 60X magnification was accurate for measurements of abraded surfaces of flute and shank and this method was effective to achieve shank-to-flute ratio at the flute site. The 30X magnification allowed to measure the studied morphological structures present in the first 4mm from the tip.

Instruments structural analysis should be well studied, as it may directly influence mechanical behavior during preparation of the complex root canal system. The studied characteristics showed Reciproc® should have higher flexibility, with higher cyclic fatigue resistance. WaveOne® should have lower flexibility and higher shank resistance, with higher resistance to torsional fracture. New studies are required to understand the mechanical behavior of reciprocating instruments and how the design and dimensions of these instruments may influence its properties when functioning.

CONCLUSION

Reciprocating instruments presented dimensional changes after curved RCP. Reciproc® instruments showed higher area and length of the flutes and lower shank compared to Unicone® and WaveOne® instruments of similar sizes. Unicone® instruments had higher number of plastic deformations at SEM images. Higher dimensions of flute and lower dimensions of the shank had lower plastic deformations after RCP.

REFERENCES

1. Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am* 1974;18(2):269-96.
2. Estrela C, Holland R, Estrela CR, Alencar AHG, Sousa-Neto MD, Pécora JD. Characterization of successful root canal treatment. *Braz Dent J* 2014;25(1):3-11.
3. Lopes HP, Elias CN, Estrela C, Siqueira-Jr JF. Assessment of the apical transportation of root canals using the method of the curvature radius. *Braz Dent J* 1998;9(1):39-45.
4. Liu SB, Fan B, Cheung GS, Peng B, Fan MW, Gutmann JL, Song YL, Fu Q, Bian Z. Cleaning effectiveness and shaping ability of rotary ProTaper compared with rotary GT and manual K-Flexofile. *Am J Dent* 2006;19(6):353-8.
5. Walia HM, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod* 1988;14(7):346-51.
6. Peters OA, Barbakow F, Peters CI. An analysis of endodontic treatment with three nickel-titanium rotary root canal preparation techniques. *Int Endod J* 2004;37(12):849-59.
7. Wang NN, Ge JY, Xie SJ, Chen G, Zhu M. Analysis of Mtwo rotary instrument separation during endodontic therapy: a retrospective clinical study. *Cell Biochem Biophys* 2014;70(2):1091-5.
8. Haapasalo M, Shen Y. Evolution of nickel-titanium instruments: from past to future. *ETP Endodontic Topics* 2013;29(1):3-17.
9. Lopes HP, Elias CN, Vieira VT, Moreira EJ, Marques RV, De Oliveira JC, Debelian G, Siqueira-Jr JF. Effects of electropolishing surface treatment on the cyclic fatigue resistance of BioRace nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2010;36(10):1653-7.
10. Shen Y, Zhou HM, Zheng YF, Peng B, Haapasalo M. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. *J Endod* 2013;39(2):163-72.
11. Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J* 2008;41(4):339-44.
12. Frank AL. An evaluation of the Giromatic endodontic handpiece. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1967;24(3):419-21.

13. Spyropoulos S, Eldeeb ME, Messer HH. The effect of Giromatic files on the preparation shape of severely curved canals. *Int Endod J* 1987;20(3):133-42.
14. Lopes HP, Elias CN, Vieira MV, Siqueira-Jr JF, Mangelli M, Lopes WS, Vieira VT, Alves FR, Oliveira JC, Soares TG. Fatigue Life of Reciproc and Mtwo instruments subjected to static and dynamic tests. *J Endod* 2013;39(5):693-6.
15. De-Deus G, Moreira EJ, Lopes HP, Elias CN. Extended cyclic fatigue life of F2 ProTaper instruments used in reciprocating movement. *Int Endod J* 2010;43(12):1063-8.
16. Wan J, Rasimick BJ, Musikant BL, Deutsch AS. A comparison of cyclic fatigue resistance in reciprocating and rotary nickel-titanium instruments. *Aust Endod J* 2011;37(3):122-7.
17. Gavini G, Caldeira CL, Akisue E, Candeiro GT, Kawakami DA. Resistance to flexural fatigue of Reciproc R25 files under continuous rotation and reciprocating movement. *J Endod* 2012;38(5):684-7.
18. De-Deus G, Vieira VTL, Silva EJM, Lopes HP, Elias CN, Moreira EJ. Bending resistance and dynamic and static cyclic fatigue life of Reciproc and WaveOne *Large* instruments. *J Endod* 2014;40(4):575-9.
19. Jin SY, Lee W, Kang MK, Hur B, Kim HC. Single file reciprocating technique using conventional nickel-titanium rotary endodontic files. *Scanning* 2013;35(6):349-54.
20. Pedulla E, Grande NM, Plotino G, Gambarini G, Rapisarda E. Influence of continuous or reciprocating motion on cyclic fatigue resistance of 4 different nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2013;39(2):258-61.
21. Kiefner P, Ban M, De-Deus G. Is the reciprocating movement per se able to improve the cyclic fatigue resistance of instruments? *Int Endod J* 2014;47(5):430-6.
22. Shin CS, Huang YH, Chi CW, Lin CP. Fatigue life enhancement of NiTi rotary endodontic instruments by progressive reciprocating operation. *Int Endod J* 2014;47(9):882-8.
23. Zhou H, Peng B, Zheng YF. An overview of the mechanical properties of nickel-titanium endodontic instruments *Endodontic Topics* 2013;29(1):42-54.
24. Plotino G, Grande NM, Porciani PF. Deformation and fracture incidence of Reciproc instruments: a clinical evaluation. *Int Endod J* 2015;48(2):199-205.

25. Cunha RS, Junaid A, Ensinas P, Nudera W, Bueno CE. Assessment of the separation incidence of reciprocating WaveOne files: a prospective clinical study. *J Endod* 2014;40(7):922-4.
26. Burklein S, Tsotsis P, Schafer E. Incidence of dentinal defects after root canal preparation: reciprocating versus rotary instrumentation. *J Endod* 2013;39(4):501-4.
27. Arias A, Lee YH, Peters CI, Gluskin AH, Peters OA. Comparison of 2 canal preparation techniques in the induction of microcracks: a pilot study with cadaver mandibles. *J Endod* 2014;40(7):982-5.
28. Jamleh A, Komabayashi T, Ebihara A, Nassar M, Watanabe S, Yoshioka T, Miyara K, Suda H. Root surface strain during canal shaping and its influence on apical microcrack development: a preliminary investigation. *Int Endod J* 2015;48(12):1103-11.
29. Karatas E, Gunduz HA, Kirici DO, Arslan H, Topcu MC, Yeter KY. Dentinal crack formation during root canal preparations by the twisted file adaptive, ProTaper Next, ProTaper Universal, and WaveOne instruments. *J Endod* 2015;41(2):261-4.
30. Biz MT, Figueiredo JA. Morphometric analysis of shank-to-flute ratio in rotary nickel-titanium files. *Int Endod J* 2004;37(6):353-8.
31. Hülsmann M, Peters OA, Dummer PMH. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endodontic Topics* 2005;10(1):30-76.
32. Cheung GSP. Instrument fracture: mechanisms, removal of fragments, and clinical outcomes. *ETP Endodontic Topics* 2009;16(1):1-26.
33. McGuigan MB, Louca C, Duncan HF. Endodontic instrument fracture: causes and prevention. *Br Dent J* 2013;214(7):341-8.
34. Schafer E, Tepel J. Relationship between design features of endodontic instruments and their properties. Part 3. Resistance to bending and fracture. *J Endod* 2001;27(4):299-303.
35. Kim HC, Kwak SW, Cheung GS, Ko DH, Chung SM, Lee W. Cyclic fatigue and torsional resistance of two new nickel-titanium instruments used in reciprocation motion: Reciproc versus WaveOne. *J Endod* 2012;38(4):541-4.
36. Higuera O, Plotino G, Tocci L, Carrillo G, Gambarini G, Jaramillo DE. Cyclic fatigue resistance of 3 different nickel-titanium reciprocating instruments in artificial canals. *J Endod* 2015;41(6):913-5.

37. Plotino G, Rubini AG, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G. Cutting efficiency of Reciproc and Waveone reciprocating instruments. J Endod 2014;40(8):1228-30.
38. Wu MK, Roris A, Barkis D, Wesselink PR. Prevalence and extent of long oval canals in the apical third. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2000;89(6):739-43.
39. Ran S, Wang J, Jiang W, Zhu C, Liang J. Assessment of dentinal tubule invasion capacity of *Enterococcus faecalis* under stress conditions ex vivo. Int Endod J 2015;48(4):362-72.
40. Plotino G, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G. Cyclic fatigue of Reciproc and WaveOne reciprocating instruments. Int Endod J 2012;45(7):614-8.
41. Ha JH, Kim SR, Versluis A, Cheung GS, Kim JW, Kim HC. Elastic limits in torsion of reciprocating nickel-titanium instruments. J Endod 2015;41(5):715-9.
42. Machado R, Silva-Neto UX, Ignacio SA, Cunha RS. Lack of correlation between obturation limits and apical leakage. Braz Oral Res 2013;27(4):331-5.

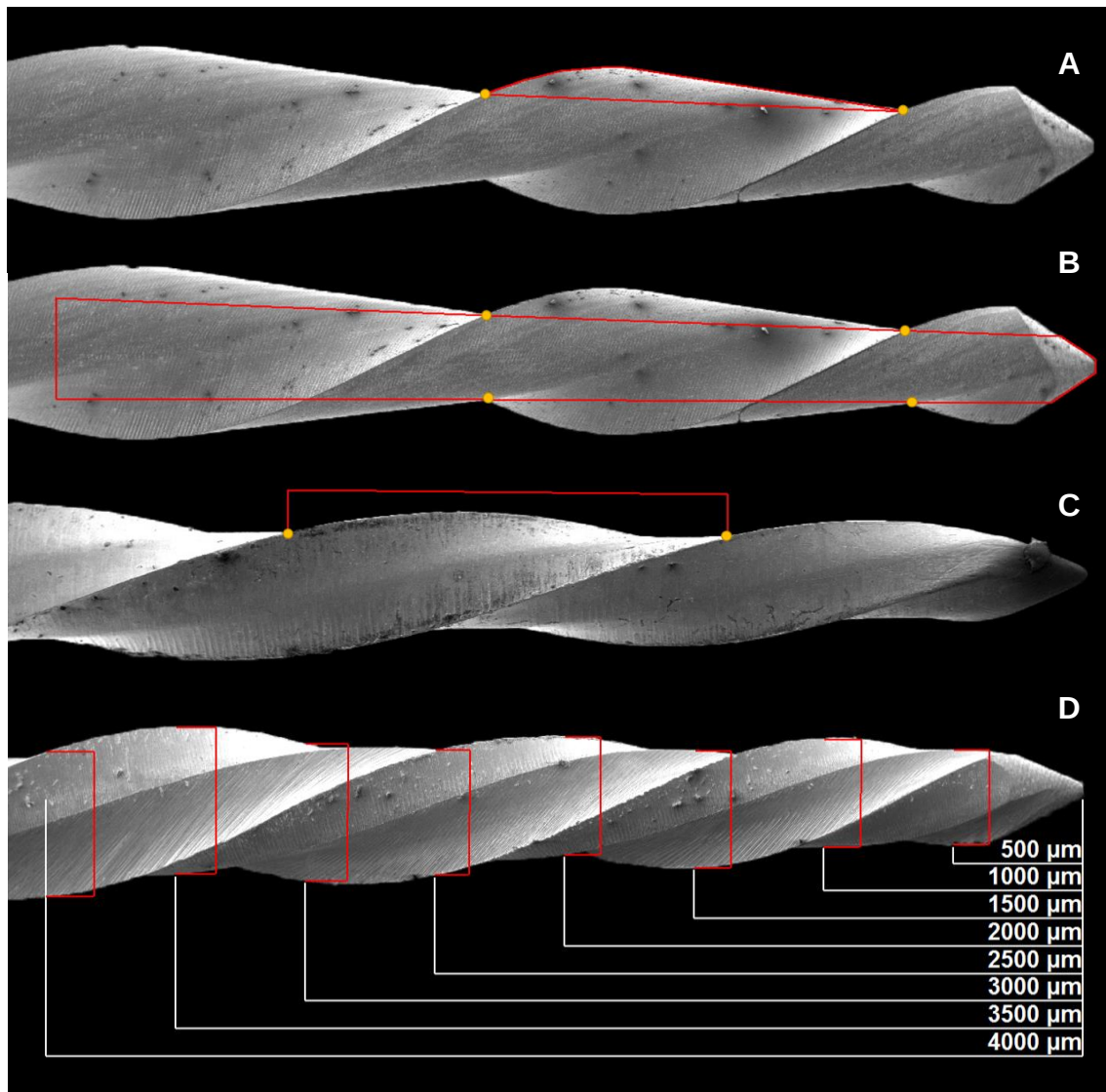


Figure 1 – A) Flute area measurement limits. The yellow points show the upper (further from the tip) and lower (closer from the tip) limits, represented by the touchpoint between flute and the helical canal. B) Shank measurement limits. The yellow points show the lateral limits of shank measurement, the same points used for flute measurement. The shank was measured from the tip until 4mm, which represents the studied area. C) Flute length measurement limits. The yellow points show the upper (further from the tip) and lower (closer from the tip) limits, represented by the touchpoint between flute and the helical canal. D) Transversal diameters limits, measured at each 0.5mm (500μm) from the instrument tip. A reference ruler was developed from the scanning electron microscopy image scale. This ruler delimited the measurement area and the points were the diameters should be measured.

Table 1. Reciproc® R25, Unicone® #25 and WaveOne® Primary comparison before and after RCP.

Variable	Reciproc® R25 before	Reciproc® R25 after	Unicone #25 before	Unicone #25 after	WaveOne Primary before	WaveOne Primary after
Flute area 1	34871,30 ^A	34498,15 ^A	17780,56 ^{BC}	19802,78 ^C	11400,00 ^{BD}	10145,37 ^D
Flute area 2	52392,59 ^A	52155,55 ^A	26574,08 ^{BC}	30200,00 ^C	16420,37 ^D	16930,56 ^{BD}
Shank area	976682,41 ^A	973281,48 ^A	1102911,11 ^B	1086040,74 ^B	1259451,85 ^C	1264200,00 ^C
Diameter 0.5mm	187,00 ^A	182,52 ^A	268,80 ^B	272,80 ^B	263,81 ^B	266,02 ^B
Diameter 1.0mm	299,51 ^A	294,53 ^A	291,76 ^A	287,32 ^A	287,80 ^A	284,46 ^A
Diameter 1.5mm	247,18 ^A	254,41 ^A	301,12 ^B	303,90 ^B	329,50 ^C	328,37 ^C
Diameter 2.0mm	357,28 ^A	333,66 ^A	320,53 ^B	319,42 ^B	363,66 ^A	366,43 ^A
Diameter 2.5mm	365,02 ^A	374,43 ^A	348,47 ^A	351,25 ^A	391,75 ^A	391,74 ^A
Diameter 3.0mm	365,31 ^A	364,57 ^A	369,19 ^A	370,85 ^A	413,81 ^B	418,27 ^B
Diameter 3.5mm	483,86 ^A	473,77 ^A	397,25 ^B	394,50 ^B	438,80 ^C	437,69 ^C
Diameter 4.0mm	401,23 ^A	419,02 ^A	423,88 ^A	425,55 ^A	453,31 ^A	451,62 ^A
Flute length 1	1059,89 ^A	1048,20 ^A	938,98 ^B	925,89 ^B	725,87 ^C	742,89 ^C
Flute length 2	1242,84 ^A	1226,44 ^A	1098,74 ^B	1094,84 ^B	890,55 ^C	895,26 ^C

Table 2. Reciproc[®] R40, Unicone[®] #40 and WaveOne[®] Large comparison before and after RCP.

Variável	Reciproc [®] R40 before	Reciproc [®] R40 after	Unicone [®] #40 before	Unicone [®] #40 after	WaveOne [®] Large before	WaveOne [®] Large after
Flute area 1	76051,85 ^{AB}	81265,74 ^B	73115,74 ^{ABC}	99125,93 ^B	43952,78 ^C	48920,37 ^{AC}
Shank area	1111100,00 ^A	1108128,70 ^A	1386538,89 ^B	1376334,26 ^B	1490857,41 ^C	1511757,41 ^C
Diameter 0.5mm	288,12 ^A	355,35 ^B	356,64 ^B	354,99 ^B	355,45 ^B	370,44 ^B
Diameter 1.0mm	369,05 ^B	321,80 ^B	396,14 ^A	392,83 ^A	402,95 ^A	404,06 ^A
Diameter 1.5mm	380,57 ^A	384,95 ^A	417,85 ^A	418,97 ^A	426,18 ^A	431,73 ^A
Diameter 2.0mm	395,66 ^A	443,41 ^{AB}	450,46 ^{AB}	439,90 ^{AB}	467,03 ^B	451,47 ^{AB}
Diameter 2.5mm	445,95 ^A	378,76 ^A	463,51 ^A	461,30 ^A	489,47 ^A	486,80 ^A
Diameter 3.0mm	442,44 ^A	444,16 ^A	490,51 ^{AB}	485,74 ^{AB}	520,00 ^B	513,85 ^B
Diameter 3.5mm	425,39 ^A	517,03 ^B	515,60 ^B	516,72 ^B	542,78 ^B	543,34 ^B
Diameter 4.0mm	516,69 ^A	502,79 ^A	541,97 ^A	523,86 ^A	571,35 ^A	564,45 ^A
Flute length 1	1368,57 ^{AB}	1395,60 ^{AB}	1646,23 ^{BC}	1959,14 ^C	1175,57 ^A	1756,72 ^{AB}