



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Odontologia de Piracicaba

RENAN ALVES BOHAIENKO

**Avaliação *in vitro* da resistência à fadiga cíclica de limas
reciprocantes tratadas com soluções irrigadoras a 37°C**

***In vitro evaluation of cyclic fatigue strength of reciprocating
files treated with irrigation solutions at 37°C***

Piracicaba, SP

2021

RENAN ALVES BOHAIENKO

**Avaliação *in vitro* da resistência à fadiga cíclica de limas
reciprocantes tratadas com soluções irrigadoras a 37°C**

***In vitro evaluation of cyclic fatigue strength of reciprocating
files treated with irrigation solutions at 37°C***

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia de Piracicaba da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Materiais Dentários.

Dissertation presented to the Piracicaba Dental School of the University of Campinas in partial fulfillment of the requirements for degree of Master in Dental Materials.

Orientador: Prof. Dr. Simonides Consani

Coorientador: Prof. Dr. Américo Bortolazzo Correr

Este exemplar corresponde à versão final da dissertação defendida pelo aluno Renan Alves Bohaienko e orientado pelo Prof. Dr. Simonides Consani.

Piracicaba, SP

2021

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Odontologia de Piracicaba
Marilene Girello – CRB 8/6159

B534a Bohaienko, Renan Alves, 1990-
Avaliação *in vitro* da resistência à fadiga cíclica de limas reciprocantes tratadas com soluções irrigadoras a 37°C / Renan Alves Bohaienko. – Piracicaba, SP : [s.n.], 2021.

Orientador: Simones Consani.

Coorientador: Americo Bortolazzo Correr.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba.

1. Endodontia. I. Consani, Simonides, 1939-. II. Correr, Americo Bortolazzo, 1981-. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Odontologia de Piracicaba. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: *In vitro* evaluation of cyclic fatigue strength of reciprocating files treated with irrigation solutions at 37°C

Palavras-chave em inglês:

Endodontics

Área de concentração: Materiais Dentários

Titulação: Mestre em Materiais Dentários

Banca examinadora:

Americo Bortolazzo Correr [Coorientador]

Ricardo Danil Guiraldo

Mário Alexandre Coelho Sinhoreti

Data de defesa: 19-03-2021

Programa de Pós-Graduação: Materiais Dentários

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0003-0727-7048>

Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/4549447482968169>



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
CAMPINAS**

Faculdade de Odontologia de
Piracicaba

A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Dissertação de Mestrado, em sessão pública realizada em 19 de março de 2021, considerou o candidato RENAN ALVES BOHAIENKO aprovado.

PROF. DR. AMERICO BORTOLAZZO CORRER

PROF. DR. RICARDO DANIL GUIRALDO

PROF. DR. MÁRIO ALEXANDRE COELHO SINHORETI

A Ata da defesa, assinada pelos membros da Comissão Examinadora, consta no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe Arlete, por todo amor e carinho que sempre teve comigo durante toda a minha trajetória acadêmica. Pelo exemplo que é em minha vida quanto à determinação e esforço para alcançar o que se almeja. Por me apoiar em busca dos meus objetivos auxiliando-me da forma que fosse possível percorrer o caminho da Pós-graduação, não medindo esforços para que todas as etapas enfrentadas pudessem ser atingidas e superadas.

Dedico em memória do meu pai Sergio, pelo amor e carinho, por sempre esperar o melhor de mim e me estimular a ser o melhor, chegar até aqui é algo que lhe traria muito orgulho e felicidade.

Em memória de minha avó Olga, por ser uma pessoa muito amorosa que nunca mediu esforços por todos da família e sempre será um exemplo marcante de generosidade, carinho e amor.

À minha irmã Larissa, mostrando-me o maravilhoso caminho da Odontologia, pelo incentivo em seguir trilhando esse rumo e sempre se colocar à disposição no que fosse possível para me auxiliar, seu amor e caráter é exemplo para continuar percorrendo o meu destino na Odontologia.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir que tudo fosse possível e me proporcionar seguir este caminho acadêmico.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de financiamento 001.

À Faculdade de Odontologia de Piracicaba, na pessoa do seu Diretor Prof. Dr. Francisco Haiter Neto, por disponibilizar as ferramentas necessárias para minha formação no Programa de excelência como o de Pós-graduação em Materiais Dentários.

Ao meu orientador Prof. Dr. Simonides Consani, por todos os ensinamentos, auxílio e dedicação. Sua competência em promover o desenvolvimento do Programa de Materiais Dentários e qualificar cada vez melhor os seus orientados.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Américo Bortolazzo Correr, pelas sugestões apresentadas, colaboração no exame de qualificação e presidência da banca de defesa da qualificação de mestrado.

Aos Professores Doutores Américo Correr Bortolazzo, Carmem Silvia Pfeifer, Lourenço Correr Sobrinho, Marcelo Giannini, Mário Alexandre Coelho Sinhoreti, Mário Fernando de Góes, Regina Maria Puppim Rontani, Luis Roberto Marcondes Martins e Simonides Consani, pelos inúmeros conhecimentos difundidos durante todo o Programa de Pós-graduação.

À Faculdade de Odontologia de Bauru, USP, nas pessoas dos Professores Doutores Rodrigo Ricci Vivan e Marco Antonio Húngaro Duarte e ao mestrando Pedro Perdigão, por cederam tempo, conhecimento, auxílio e estrutura para que este trabalho fosse realizado.

Ao meu amigo Prof. Dr. Fabricio Rutz da Silva, sempre me ajudando e me incentivando no caminho da jornada acadêmica.

A todos os meus colegas de mestrado e doutorado, em especial à Patricia Shibasaki, Carolina Garfias, May Anny Fraga e Joanisa Curtulo, por toda amizade e companheirismo.

RESUMO

Diversas técnicas e recursos mecânicos ganharam relevância na atividade clínica com a modernização da Odontologia. Dentre esses recursos, os motores elétricos são usados para as mais diversas indicações, como a terapia endodôntica. Assim, foram desenvolvidas limas endodônticas com ligas metálicas de diferentes composições e protocolos de aplicação para esses motores, objetivando reduzir o tempo clínico, melhorar o preparo mecânico dos canais radiculares e obter maior confiabilidade das limas para as mais diversas necessidades clínicas. O objetivo neste estudo foi avaliar o efeito de diferentes soluções aquecidas à temperatura de 37°C sobre a resistência mecânica cíclica de limas de Níquel-Titânio (Ni-Ti). Foram avaliadas as soluções de hipoclorito de sódio (NaClO) a 5,25%, Digluconato de clorexidina gel a 2% e solução fisiológica, todas empregadas à temperatura de 37 °C em limas com cinética recíproca Reciproc Blue[®], Prodesign S[®] e X1-Blue[®]. As diferentes limas foram imersas em cada solução por 10 minutos e mantidas em estufa à temperatura de 37°C. Em dispositivo contendo canal com curvatura simulada de 60 graus e 5 mm de raio, imerso em água a 37°C. Foram constituídos os seguintes grupos associando limas e soluções (n=15): RSF- Reciproc Blue[®] e solução fisiológica (Controle); RNA- Reciproc Blue[®] e NaClO 5,25%; RDC- Reciproc Blue[®] e Digluconato de clorexidina gel 2%; PSF- Prodesign S[®] e solução fisiológica (Controle); PNa- Prodesign S[®] e NaClO 5,25%; PDC- Prodesign S[®] e Digluconato de clorexidina gel 2%; XSF- X1-Blue[®] e solução fisiológica (Controle); XNa- X1-Blue[®] e NaClO 5,25% e XDC- X1-Blue[®] e Digluconato de clorexidina gel 2%. O teste mecânico de fadiga à flexão cíclica foi realizado até fratura das limas e o tempo cronometrado em segundos para calcular o número de ciclos. Os resultados foram submetidos ao teste estatístico ANOVA dois fatores e Bonferroni, seguido pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$) comparando parcelas subdivididas no programa SPSS 26.0 (SPSS, Chicago, IL,). Os resultados mostraram que não houve diferença significativa nos valores de resistência à fadiga cíclica das limas entre diferentes soluções e as marcas comerciais mostraram diferença significativa entre si. Não houve diferença significativa quanto ao número de ciclos entre as diferentes soluções quando comparadas ao controle para o mesmo grupo e houve diferença entre os números de ciclos e entre limas em cada solução. Em conclusão, o efeito das soluções irrigantes aquecidas a 37°C sobre a fadiga cíclica de limas foi similar e as diferentes marcas de limas mostraram diferenças significativas entre si.

Palavras chave: Endodontia, fadiga cíclica, limas, temperatura da solução, resistência à flexão cíclica.

ABSTRACT

Several techniques and mechanical resources have gained relevance in clinical activity with the modernization of the Dentistry. Among these resources, the electric motors are used for the most diverse indications, such as endodontic therapy. Thus, endodontic files were developed with metal alloys of different compositions and application protocols for these engines, aiming to reduce the clinical time, improve the cyclic mechanical preparation of the root canals and obtain greater reliability of the files for the most diverse clinical needs. The aim of this study was to evaluate the effect of different solutions heated to 37°C on the cyclic mechanical fatigue of Ni-Ti files. The solutions of 5.25% NaClO, 2% chlorhexidine digluconate gel and physiological solution were employed at 37°C in files with reciprocating kinetics Reciproc Blue[®], Prodesign S[®] and X1-Blue[®]. The files were immersed in each solution for 10 min and kept at 37°C in a microbiological greenhouse. Then, they were submitted to the cyclic flexion fatigue test in a device containing a canal with simulated curvature of 60 degrees and 5 mm radius, and immersed in water at 37°C. The following groups were formed associating files and solutions (n=15): RSF - Reciproc Blue[®] and physiological solution (Control), RNa – Reciproc Blue[®] and NaClO 5.25%, RCD - Reciproc Blue[®] and chlorhexidine digluconate gel 2%, PSF - Prodesign S[®] and physiological solution (Control), PNa - Prodesign S[®] and NaClO 5.25%. PDC - Prodesign S[®] and 2% chlorhexidine digluconate gel, XSF - X1-Blue[®] and physiological solution (Control), XNa - X1-Blue[®] and 5.25% NaClO and XDC - X1-Blue[®] and 2% chlorhexidine digluconate gel. The mechanical fatigue test was performed until the files failed and the time was measured in seconds to calculate the number of cycles. The results were subjected to the statistical test ANOVA two factors and Bonferroni, followed by the Tukey test (5%) comparing plots subdivided in the SPSS 26.0 program (SPSS, Chicago, IL,). The results showed that there was no significant difference in the values of strength to cyclic fatigue of files between different solutions and the different commercial brands showed a significant difference between them. There was no significant difference in the number of cycles between the different solutions when compared to the control for the same group, and there was a difference between the number of cycles and between files in each different solution. In conclusion, the effect of the different solutions at 37°C on the files cyclic fatigue values was similar and the different file types showed significant differences among them.

Keywords: Endodontics, cyclic fatigue, files, solution temperature, resistance to flexural cycling.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DA LITERATURA	13
3 PROPOSIÇÃO	17
4 MATERIAIS E MÉTODOS	18
Preparo das limas endodônticas	18
Dispositivo simulador de canal radicular	18
Teste de resistência à flexão cíclica	19
Análise da lima endodôntica em MEV	20
Análise estatística	20
5 RESULTADOS	21
6 DISCUSSÃO	29
7 CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	35
ANEXOS	39
Anexo 1: Figura 9	39
Anexo 2: Figura 10	40
Anexo 3: Figura 11	41
Anexo 4: Figura 12	42
Anexo 5: Figura 13	43
Anexo 6: Figura 14	44
Anexo 7: Figura 15	45
Anexo 8: Figura 16	46
Anexo 9: Relatório de similaridade	47

1 INTRODUÇÃO

O preparo mecânico de canais radiculares é uma das etapas realizadas na terapia endodôntica. O aprimoramento de técnicas do preparo mecânico advém do emprego de motores elétricos que permitem programar e controlar a rotação e o torque dos instrumentos endodônticos. Esses instrumentos são confeccionados com ligas metálicas baseadas em níquel-titânio, apresentando maior flexibilidade e resistência à fratura quando comparados aos instrumentos de aço inoxidável. O uso de instrumentos endodônticos flexíveis é necessário em função das variações anatômicas dos canais radiculares, onde os instrumentos devem prepará-los sem causar alteração ou desvio do canal, mesmo em situações de curvatura acentuada. Além disso, deve-se manter a resistência adequada das limas para suportar a fadiga cíclica por flexão resultante dos procedimentos endodônticos.

Diferentes métodos são utilizados na produção de limas endodônticas para melhorar a resistência à fadiga cíclica, como tratamento térmico, usinagem e modificação pelo condicionamento da superfície das limas. Considerando que essas limas são submetidas à fadiga cíclica durante a técnica endodôntica, estudos têm verificado como os fatores externos podem influenciar a resistência mecânica desses instrumentos. Dentre outras variáveis analisadas, estudo mostrou que a temperatura aplicada ao instrumento reduzia significativamente a resistência à fadiga, podendo ocasionar fratura precoce quando em uso (De Vasconcelos *et al.*, 2016). Assim, o aumento da temperatura de 20 para 37°C reduziu o valor da resistência da fratura à flexão em cerca de 85%, quando as limas foram imersas em água (De Vasconcelos *et al.*, 2016).

Para melhorar a resistência da fadiga à flexão, fabricantes introduziram diferentes tratamentos térmicos na liga, mostrando valor de resistência aumentado quando comparado às limas de níquel-titânio nas temperaturas de 20 e 35°C (Arias *et al.*, 2018; Pedula *et al.*, 2017). Resultados similares foram obtidos com redução da temperatura de 60 para 0°C, mostrando aumento da resistência à fadiga cíclica de 2 a 10 vezes maiores (Alfawaz *et al.*, 2018; Shen *et al.*, 2018), comprovando que a temperatura pode exercer efeito significativo nos níveis de resistência à fadiga cíclica.

Os preparos endodônticos tem sido realizados associados às substâncias irrigadoras para facilitar a remoção da *smear layer*, além do efeito lubrificante e ação

antimicrobiana. As soluções irrigadoras apresentam diferentes interações químicas com as ligas metálicas das limas podendo alterar o padrão da superfície (Sāglam *et al.*, 2012). A imersão em soluções irrigadoras, como EDTA a 17% e NaClO a 5,25% podem promover alteração da topografia da superfície de limas de níquel-titânio, resultando em fratura prematura do instrumento (Uslu *et al.*, 2018). A interação da solução de NaClO com as limas pode provocar redução nos valores de fadiga cíclica (Ertuğrul *et al.*, 2019; Palma *et al.*, 2018; Keles *et al.*, 2019). Além disso, outras soluções irrigadoras são também utilizadas, como a solução aquosa de Digluconato de clorexidina a 2% com pH de 5,5-6,0 mostrando efeito levemente ácido e liberação de prótons (Marion *et al.*, 2013), causando reatividade com a liga de níquel-titânio quando usada também em dispositivos ortodônticos (Brar *et al.*, 2015; Danaei *et al.*, 2011; Jamilian *et al.*, 2014; Nalbantgil *et al.*, 2016; Rincic *et al.*, 2019). Entretanto, não se tem conhecimento de que algum estudo anterior tenha avaliado o efeito da solução gel de Digluconato de clorexidina aquecida sobre resistência mecânica de limas endodônticas reciprocantes.

Entretanto, alguns estudos têm demonstrado que a imersão em soluções de NaClO a 5,25% por 5 ou 10 minutos à temperatura de 37°C não promoveu alterações na resistência à fadiga cíclica de limas endodônticas (Uslu *et al.*, 2018; Huang *et al.*, 2017; Pedulla *et al.*, 2018; Erik *et al.*, 2019), causando divergências de resultados que podem ser resultantes de diferentes metodologias (Plotino *et al.*, 2009). Essas divergências estão relacionadas principalmente com a curvatura simulada do canal radicular e com os diferentes formatos de dispositivos, temperaturas e/ou soluções irrigadoras, com a maioria dos estudos utilizando teste mecânico de três pontos com 60 graus de curvatura e 5 mm de raio (Alfawaz *et al.*, 2018; Shen *et al.*, 2018; Keles *et al.*, 2019; Pedulla *et al.*, 2018). Dentre outras variáveis desses estudos, encontram-se as soluções de EDTA a 17 % e NaOCl a 5,25 % como as mais empregadas (Arias *et al.*, 2018; Palma *et al.*, 2018; Keles *et al.*, 2019; Huang *et al.*, 2017), nas temperaturas de 20, 35 ou 37°C e com tempos de imersão de 5 ou 10 minutos (Sāglam *et al.*, 2012; Uslu *et al.*, 2018; Özyürek *et al.*, 2019).

A existência de resultados controversos não totalmente esclarecidos em estudos anteriores estabelece a oportunidade de avaliar neste estudo *in vitro* o efeito das soluções de gel de Digluconato de clorexidina a 2% e Hipoclorito de sódio a 5,25%, ambas à temperatura de 37°C, sobre a resistência à fadiga cíclica de limas endodônticas de níquel-titânio quando comparadas à solução fisiológica (Controle). A

hipótese do estudo foi que diferentes soluções irrigadoras aquecidas promoveriam diferentes efeitos sobre a resistência à flexão em limas endodônticas de diferentes marcas comerciais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A terapia endodôntica utiliza limas de diferentes ligas metálicas como instrumentos para realizar o preparo mecânico dos canais. A primeira liga utilizada foi aço inoxidável, composta predominantemente por ferro (66 a 71%) em ligas de aço-inox austenítico. Parte da constituição contém cromo em concentrações de 16 a 19%, sendo que concentrações acima de 12% que fornece condição protetora à liga, formando uma camada de óxido na superfície. Outra parte contém níquel em concentrações de 6 a 10%, na qual acima de 6% proporciona maior resistência ao calor, corrosão e tenacidade (Lopes *et al.*, 2015). Os valores de concentração seguem a especificação número 29 da ANSI/ADA de 1976, que caracteriza as proporções para o aço-inox austenítico 301, 302 e 303 conforme demonstra o Quadro 1.

Quadro 1 - Composição química de aço inoxidável austenítico para limas endodônticas manuais*.

Aço	Carbono	Cromo	Níquel	Ferro	Outros
301	0,15	16 - 18	6 - 8	70,9 - 74,9	---
302	0,15	17 - 19	8 - 10	67,9 - 71,9	---
303	0,15	17 - 19	8 - 10	66,45 - 70,45	Molibdênio 0.6 e Zircônio 0.6

*Adaptado da especificação 29 ANSI/ADA.

A busca pelo aperfeiçoamento das ligas metálicas motivou a introdução das ligas de Ni-Ti que apresentam super-elasticidade e memória permitindo que a lima volte a sua posição original depois da remoção da tensão mecânica sem a necessidade de aquecimento quando comparadas às de aço inoxidável (Thompson 2000). As ligas de Ni-Ti em comparação ao aço inoxidável apresentam menor resistência à deformação e maior elasticidade reduzindo o deslocamento apical durante o preparo do canal radicular (Bergman *et al.*, 2001; Schäfer *et al.*, 2003). Quanto maior a resistência à deformação, maior a força exercida sobre a parede do conduto curvo do canal radicular, podendo causar o deslocamento apical do preparo causando desvio e perfuração (Lopes *et al.*, 2015).

Existem diferentes modificações químicas para as ligas de Ni-Ti como fase R, M-wire e controle de memória (Goo HJ *et al.*, 2017; Alcalde *et al.*, 2018). As ligas com fase R são obtidas por meio do tratamento térmico de resfriamento e aquecimento, formando uma estrutura cristalina romboédrica com menor resistência à deformação elástica e maior resistência à fadiga à flexão. A liga M-wire é obtida por um processo termomecânico estabilizando a micro estrutura da liga em martensita e apresentam maior resistência à fadiga à flexão quando comparada às ligas convencionais de Ni-Ti (Lopes *al.*, 2015; Shen *et al.*, 2013). As limas com liga Ni-Ti com memória controlada é feita em processo único e permite que siga a trajetória do canal radicular deformando-se com maior flexibilidade e quando serem esterilizadas voltam ao formato original. Esta capacidade de deformação reduz a formação de degrau no canal, transporte apical e perfuração.

As ligas de Ni-Ti utilizadas na endodontia são equiatômicas em peso (1:1). Essa proporção permite que aproximadamente 56% do peso seja composto por níquel e 44% por titânio, apresentando diferentes formas cristalográficas (austenita, martensita ou fase R). Quando no estado martensítico, a liga tem característica macia, dúctil e com de fácil deformação, no estado austenítico é forte e dura com maior resistência à deformação, e a fase R é romboédrica podendo se formar durante a transformação de martensita para austenita no aquecimento e transformação reversa pelo resfriamento numa escala de temperatura muito pequena (Shen *et al.*, 2013). Inúmeros estudos demonstram que a alteração positiva da temperatura causa um decréscimo da vida útil das limas endodônticas (De Vasconcelos *et al.*, 2016; Arias *et al.*, 2018; Pedula *et al.*, 2017; Alfawaz *et al.*, 2018; Shen *et al.*, 2018).

As limas endodônticas são degradadas pelo uso clínico, sendo uma das formas de degradação a corrosão causada pela ação química ou eletroquímica, sendo outras formas de degradação o desgaste e a alteração estrutural (Sãglam *et al.*, 2012; Uslu *et al.*, 2018; Ertuğrul *et al.*, 2019; Palma *et al.*, 2018; Keles *et al.*, 2019; Lopes *et al.*, 2015). A corrosão é um processo de troca de elétrons entre a liga metálica e o meio na qual a liga se insere. O processo de transferência de elétrons entre a liga e o meio acontece durante a corrosão química e eletroquímica, sendo que a corrosão química ocorre na superfície da numa mesma região onde estão doadores e receptor de elétrons. A corrosão eletroquímica ocorre pela transferência indireta de elétrons entre

ânodo e cátodo em diferentes regiões com a ação de corrente elétrica (Lopes *et al.*, 2015).

Com as novas ligas para construção de limas endodônticas, outros sistemas foram desenvolvidos. Inicialmente, com motores pneumáticos e cinética rotatória contínua sem nenhum tipo de controle sobre as forças aplicadas e motores elétricos que disponibilizavam apenas o movimento rotatório contínuo. Posteriormente, a introdução do movimento reciprocante, tendo como diferença entre os motores pneumáticos o controle da velocidade e torque aplicados às limas endodônticas. A cinemática de movimentos alternados (reciprocante) ou rotatório contínuo aplicados às limas endodônticas influenciaram diretamente a resistência à fadiga à flexão, sendo os movimentos alternados os que estabelecem maior resistência (Pedulla *et al.*, 2018; Plotino *et al.*, 2009). Entretanto, resultados similares foram obtidos entre instrumentos rotatórios e reciprocantes, sendo necessário maior tempo de fadiga para fratura dos reciprocantes (Lopes *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2012; Lopes *et al.*, 2013).

Durante a evolução da terapia endodôntica, diversas soluções irrigantes foram propostas e introduzidas para diferentes protocolos clínicos. Dentre as diferentes soluções empregadas, as mais usadas atualmente são as compostas por Digluconato de clorexidina, Hipoclorito de sódio, Soro fisiológico e Ácido etilenodiamino tetracético dissódico (EDTA), o uso destas soluções são estudados para avaliar seus efeitos sobre as limas endodônticas (Palma *et al.*, 2018; Keles *et al.*, 2019; Huang *et al.*, 2017; Pedulla *et al.*, 2018; Erik *et al.*, 2019; Bulem ÜK *et al.*, 2013). O uso de soluções irrigantes baseia-se em alguns propósitos como baixa tensão da superfície, viscosidade adequada, capacidade de remover resíduos, ação antimicrobiana, ação quelante, lubrificação, suspensão de detritos e ser biocompatível (Lopes *et al.*, 2015). As soluções disponíveis atualmente para uso clínico não oferecem todos os critérios necessários, como as soluções que apresentam maior poder antimicrobiano ou maior solubilidade de tecidos residuais não são biocompatíveis. O Hipoclorito de sódio (NaOCl) é uma solução oxidante com maior poder antimicrobiano e maior poder de dissolução dos tecidos pulpares, disponível para uso odontológico como líquido de Dakin com 0,5%, solução de Milton com 1,0%, licor de Labarraque com 2,5% e a Soda clorada com concentração entre 4% a 6%, geralmente empregada com concentração de 5,25% em terapia endodôntica de sessão única (Lopes *et al.*, 2015).

A Clorexidina é um composto praticamente insolúvel em água, com uso possível como sal Digluconato de clorexidina que apresenta maior solubilidade em meio aquoso, maior atividade antibacteriana entre os pH 5,5 e 7 abrangendo o pH fisiológico dos tecidos humanos e capaz de se dissociar liberando moléculas de carga positiva (Marion *et al.*, 2013). O Digluconato de clorexidina tem atividade antibacteriana de amplo espectro para espécies gram-positivas e gram-negativas e maior sustentabilidade com a hidroxiapatita, sendo liberada lentamente no meio conforme a concentração decresce mantendo a efetividade por maior período. A concentração do Digluconato de clorexidina para uso clínico é de 0,12% e 2%, sendo mais utilizado no preparo endodôntico na concentração de 2% na forma de gel com menor toxicidade e indicada nos casos de alergia ao Hipoclorito de sódio, tratamento de polpa necrosada com rizogênese incompleta onde o extravasamento do Hipoclorito pode causar reações severas aos tecidos perirradiculares (Lopes *et al.*, 2015). Em Alguns estudos o uso do Digluconato de clorexidina indicam reatividade com as ligas de níquel-titânio usadas em dispositivos ortodônticos (Brar *et al.*, 2015; Danaei *et al.*, 2011; Jamilian *et al.*, 2014; Nalbantgil *et al.*, 2016; Rincic *et al.*, 2019; Aghili H *et al.*, 2017; Nik HT *et al.*, 2013).

3 PROPOSIÇÃO

O objetivo neste estudo *in vitro* foi avaliar o efeito das soluções de Digluconato de clorexidina a 2% gel e Hipoclorito de sódio a 5,25%, ambos à temperatura de 37°C, sobre a resistência à fadiga cíclica de limas endodônticas de Ni-Ti quando comparada à solução fisiológica (Controle).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo experimental do estudo avaliou limas endodônticas com cinética recíprocante. A propriedade cinética permite que a rotação instrumental do longo eixo instrumental seja de 150 graus no sentido anti-horário, seguida pela rotação de 30 graus no sentido horário, sendo que três repetições completam uma rotação do eixo da lima. Os grupos de estudo (n=15) foram separados de acordo com as marcas comerciais das limas e soluções irrigadoras aquecidas.

Preparo das limas endodônticas

Três marcas comerciais de limas endodônticas com cinética recíprocante foram avaliadas: Reciproc Blue® R 25.08 25mm (VDW - Munique, Alemanha - lote 210817), Prodesign R® 25.06 25mm (Easy - Belo Horizonte, MG, Brasil - lote 0037/0119) e X1-Blue® 25.06 25mm (MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil - lote 20180713). As limas foram manufaturadas em ligas de níquel-titânio, com diferentes seções transversais e processos específicos de condicionamento térmico realizados pelos próprios fabricantes, com segredo industrial.

As soluções irrigadoras utilizadas foram Hipoclorito de sódio a 5,25%, Digluconato de clorexidina gel a 2% e solução fisiológica. As soluções foram armazenadas em tubos plásticos usados em centrífuga com capacidade para 20 mL, identificados individualmente e armazenados em estufa a 37°C por 1 hora até atingir a temperatura de 37°C (Pedulla *et al.*, 2018)¹⁸. Em seguida, as limas foram imersas em cada solução à mesma temperatura por 10 minutos (Sãglam *et al.*, 2012; Uslu *et al.*, 2018).

Dispositivo simulador de canal radicular

Neste estudo foi empregado um dispositivo simulador de canal radicular programável (Figura 9 e 10) que permite o ajuste do ângulo de curvatura entre 0 e 90 graus e 5 mm de raio. O eixo central é constituído por um cilindro metálico de superfície plana e um encaixe móvel com sulco central guia para adaptação da lima à superfície externa do cilindro, posicionando-a na curvatura estipulada. A base suporte

posiciona o contra ângulo, evitando qualquer interferência por deslocamento ou vibração decorrentes de possível instabilidade do dispositivo durante o teste.

Teste de resistência à flexão cíclica

Após o procedimento de imersão nas soluções, as limas foram lavadas com água deionizada à temperatura ambiente, secas com papel absorvente e jatos de ar. Em seguida, foram posicionadas para manter a padronização de 1 mm do comprimento da lima fora da curvatura do dispositivo simulador do canal radicular com 60 graus de curvatura e 5 mm de raio (Alfawaz *et al.*, 2018; Shen *et al.*, 2018; Keles *et al.*, 2019; Pedulla *et al.*, 2018) e submetidas ao teste de resistência à flexão até fratura.

O teste mecânico com o dispositivo simulador de canal radicular (Figuras 9 e 10) foi efetuado no laboratório de Endodontia da Faculdade de Odontologia de Bauru, USP, pelo mesmo operador. Foram constituídos os seguintes grupos (n=15): RSF- Reciproc Blue® e solução fisiológica (Controle); RNa- Reciproc Blue® e NaClO 5,25%; RDC- Reciproc Blue® e Digluconato de clorexidina gel 2%; PSF- Prodesign R® e solução fisiológica (Controle); PNa- Prodesign R® e NaClO 5,25%; PDC- Prodesign R® e Digluconato de clorexidina gel 2%; XSF- X1-Blue® e solução fisiológica (Controle); XNa- X1-Blue® e NaClO 5,25% e XDC- X1-Blue® e Digluconato de clorexidina gel 2%.

A lima foi acionada com motor elétrico VDW Silver (VDW; Munique, Alemanha) e submetida à movimentos reciprocantes (movimento alternativo no sentido horário e depois anti-horário, completando uma rotação) com velocidade programada de 350 rpm. O tempo decorrido até ocorrer fratura da lima foi registrado em segundos com cronômetro digital K30-104 (Kasvi; São José dos Pinhais, PR, Brasil), correspondendo ao ciclo completo do teste mecânico de fadiga. Em seguida, foi calculado o número de ciclos até fratura considerando a relação tempo de trabalho x rpm, por meio da equação: $NCF = \text{Tempo} \times (350/60)$, onde NCF= número de ciclos até fratura, Tempo = duração do teste em segundos e $(350/60)$ = programação do motor elétrico.

O teste de fadiga à flexão cíclica foi realizado com as limas imersas em água à temperatura de $37 \pm 1^\circ\text{C}$ para padronizar as variáveis temperatura e umidade, evitando também qualquer contaminação por poeira do ar no ambiente de teste. Foi utilizado

um recipiente com aquecedor elétrico para manter a temperatura da água a 37°C. A temperatura foi registrada por termômetro digital colocado ao lado do dispositivo simulador de canal radicular (Figuras 9,10 e 11).

Análise da lima endodôntica em MEV

Antes do teste de resistência à fratura cíclica por flexão, a superfície da lima endodôntica foi submetida à análise por MEV (microscopia eletrônica de varredura) para verificar possíveis defeitos de fabricação (Figuras 3, 4 e 5) e por EDS (espectroscopia por energia dispersiva) para identificar a concentração de metais compondo a liga de níquel-titânio (Figuras 6, 7 e 8). Foram selecionadas aleatoriamente três limas de cada marca comercial. Foram avaliados em cada lima os terços apical, médio e coronal, sendo que cada terço foi analisado três vezes. Após o teste de fadiga cíclica, uma amostra representativa das limas foi novamente avaliada em MEV nas mesmas condições descritas na avaliação inicial.

Análise estatística

Após a coleta de dados, os resultados foram submetidos à análise estatística no programa SPSS 26.0 (SPSS, Chicago, IL, EUA). Os valores de média e desvio padrão de NCF, concentração de níquel e titânio foram obtidos e aplicados em teste estatístico ANOVA dois fatores e Bonferroni, seguido pelo teste posthoc de Tukey (5%) e teste de efeito sobre as limas, soluções e soluções + limas

5 RESULTADOS

Os resultados da análise de variância dois fatores mostraram que a interação entre os fatores (lima*solução) não foi significativa ($p=0,166$). A solução não influenciou significativamente o número de ciclos até a fratura ($p=0,467$), diferente do fator lima, que influenciou significativamente a quantidade de ciclos até a fratura ($p<0,0001$).

As médias e desvios padrão foram calculados para os nove grupos experimentais de modo independente, seguido pelo cálculo separando os fatores marca comercial e solução.

Tabela 1 - Médias e desvios padrão dos grupos experimentais.

Limas	Soluções	Média	Erro Desvio	N
Reciproc Blue	NaClO 5.25%	1500,3	330,2	15
	Clorexidina gel 2%	1581,6	356,1	15
	Soro Fisiológico	1487,1	213,6	15
Prodesign R	NaClO 5.25%	5198,6	766,5	15
	Clorexidina gel 2%	4967,2	850,9	15
	Soro Fisiológico	4858,7	819,2	15
X1-Blue	NaClO 5.25%	852,8	507,8	15
	Clorexidina gel 2%	1307,0	322,8	15
	Soro Fisiológico	1086,2	421,3	15

Teste do efeito entre fatores

A Tabela 2 mostra que o efeito das variáveis independentes foi apenas sobre as limas ($p<0,05$). O fator solução não influenciou os resultados nem a interação solução x limas ($p>0,05$).

Tabela 2 - Teste do efeito entre os fatores.

Origem	GL	Quadrado médio	F	Sig.
limas	2	208173592,5	668,2	0,000
soluções	2	238761,3	0,8	0,467
limas * soluções	4	513248,9	1,6	0,166

O método *Pairwise* calculou o efeito das diferentes interações sobre os resultados, combinando os pares de variáveis sem considerar as situações que se repetem.

A Tabela 3 com as médias marginais estimadas ajustadas para diversas comparações usando o teste de *Pairwise* mostra que não houve diferença significativa entre as soluções ($p > 0,05$).

Tabela 3 - Teste de *Pairwise* para soluções.

(I) Soluções	(J) Soluções	Sig.
NaClO 5.25%	Clorexidina gel 2%	1,000
	Soro Fisiológico	1,000
Clorexidina gel 2%	NaClO 5.25%	1,000
	Soro Fisiológico	0,696

Comparações múltiplas entre soluções

A Tabela 5 mostra as médias para o teste de Tukey HSD com valores sem diferença estatisticamente significativa entre as soluções ($p > 0,05$).

Tabela 5 - Médias para o teste de Tukey.

(I) Soluções	(J) Soluções	Diferença média (I-J)	Sig. ^a
NaClO 5.25%	Clorexidina gel 2%	-101,4	0,665
	Soro Fisiológico	39,9	0,939
Clorexidina gel 2%	NaClO 5.25%	101,4	0,665
	Soro Fisiológico	141,3	0,455

Comparação das limas pelo método Bonferroni

A Tabela 6 mostra as médias estimadas ajustadas para diversas comparações pelo método Bonferroni ($\alpha=0,05$) com valores sem diferença estatisticamente significativa entre as limas ($p<0,05$).

Tabela 6 - Médias entre limas pelo teste de Bonferroni.

(I) Limas	(J) Limas	Diferença média (I-J)	Erro Desvio	Sig. ^b
Reciproc Blue	Prodesign R	-3485,2*	117,6	0,000
	X1-Blue	441,1*	117,6	0,001
Prodesign R	Reciproc Blue	3485,2*	117,6	0,000
	X1-Blue	3926,2*	117,6	0,000

Comparações múltiplas entre limas

A Tabela 7 mostra valores com diferenças estatisticamente significativas ($p<0,05$) pelo teste de Tukey para os três tipos de limas ($p<0,05$).

Tabela 8 - Teste de Tukey.

	(I) Limas	(J) Limas	Diferença média (I-J)	Sig.
Tukey HSD	Reciproc Blue	Prodesign R	-3485,2*	0,000
		X1-Blue	441,0*	0,001
	Prodesign R	Reciproc Blue	3485,2*	0,000
		X1-Blue	3926,2*	0,000

Figura 1 - Número de ciclos de fratura (NCF) entre marcas comerciais de limas em cada solução.

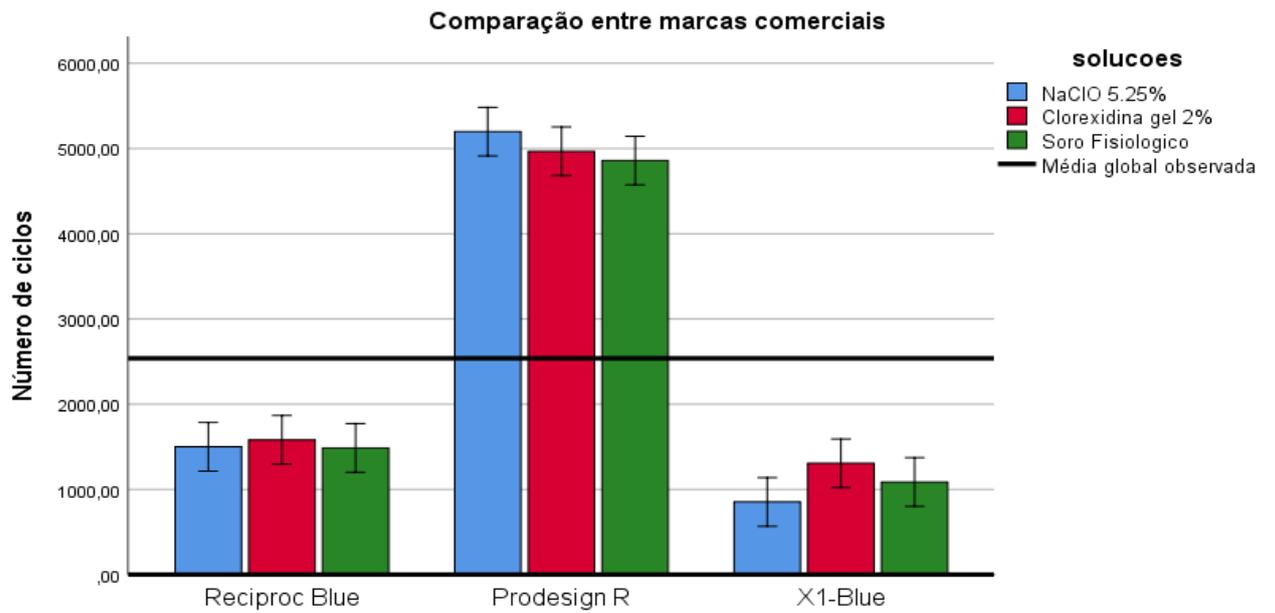
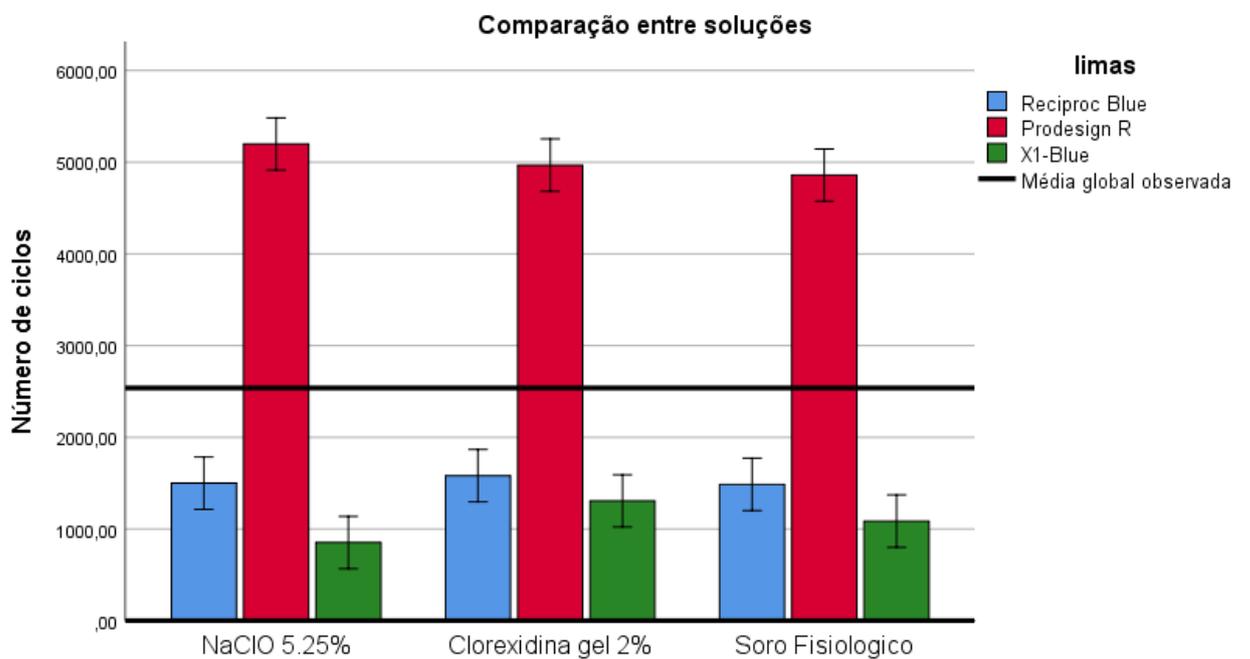


Figura 2 - Comparação entre grupos numa mesma solução.



Comparações múltiplas entre regiões das limas

Tabela 8 - Valores de EDS para médias e desvio padrão da concentração de titânio e níquel em diferentes regiões das limas.

Limas	Média Titânio	Erro Desvio Titânio	Média Níquel	Erro Desvio Níquel	N
Reciproc Blue	44,8 B	1,3	55,16 a	0,96	27
Prodesign R	44,8 B	0,9	55,16 a	1,265	27
X1-Blue	69,1 A	5,3	30,89 b	5,19	27

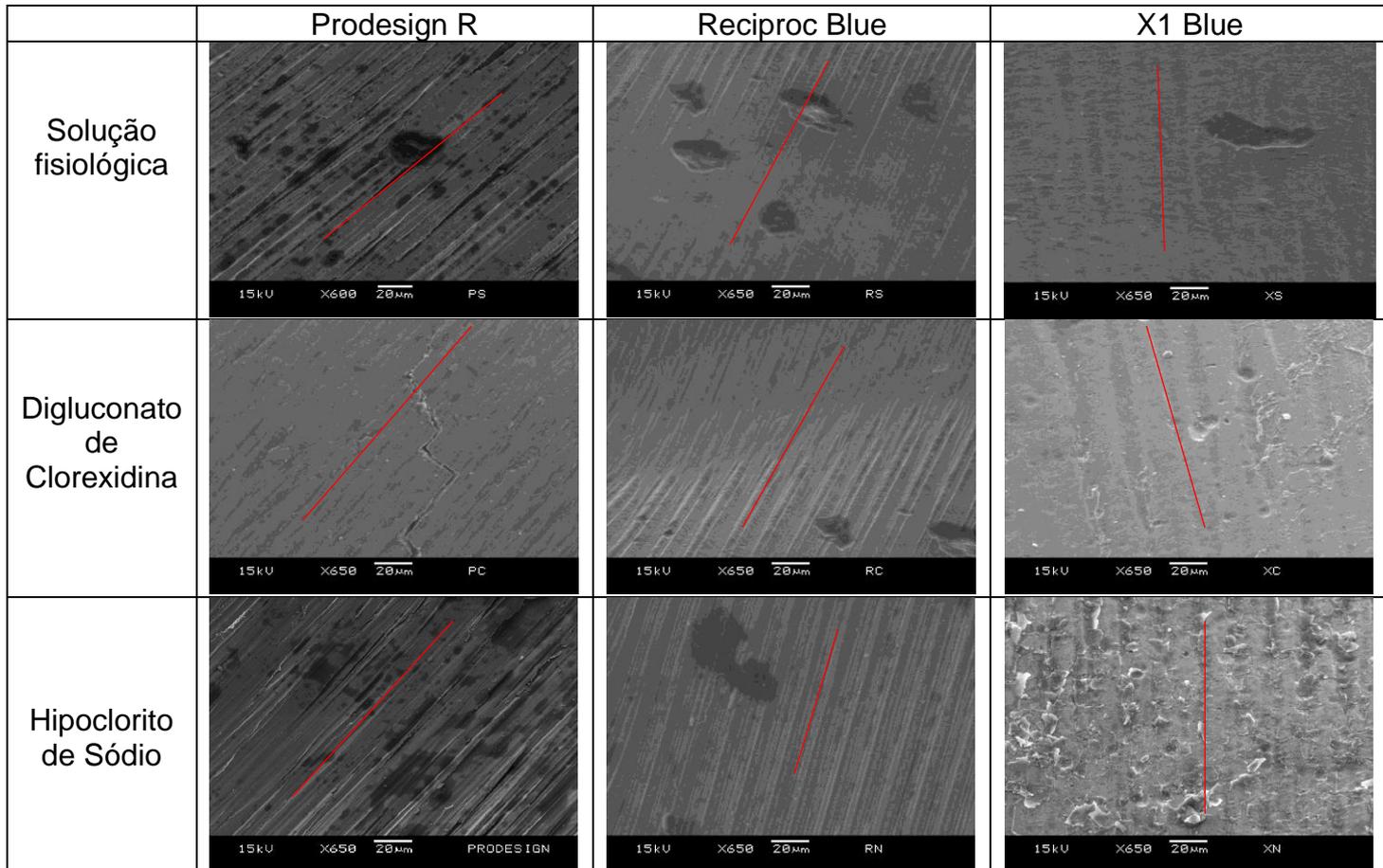
Tabela 9 – Valores comparativos de maior resistência ao NCF comparado com o grupo PNa de maior média.

Limas	Soluções	Média
Reciproc Blue	NaClO 5.25%	28.9%
	Clorexidina gel 2%	30.4%
	Soro Fisiológico	28.6%
Prodesign R	NaClO 5.25%	100%
	Clorexidina gel 2%	95.5%
	Soro Fisiológico	93.5%
X1-Blue	NaClO 5.25%	16.4%
	Clorexidina gel 2%	25.1%
	Soro Fisiológico	20.9%

Tabela 10 – Valores médios do tempo de NCF em segundos.

Limas	Soluções	Média
Reciproc Blue	NaClO 5.25%	257
	Clorexidina gel 2%	271
	Soro Fisiológico	254
Prodesign R	NaClO 5.25%	891
	Clorexidina gel 2%	851
	Soro Fisiológico	832
X1-Blue	NaClO 5.25%	146
	Clorexidina gel 2%	224
	Soro Fisiológico	186

Ilustrações das superfícies das limas



As linhas em vermelho demonstram as marcas resultantes do processo de fabricação.

Ilustrações das secções transversais das limas

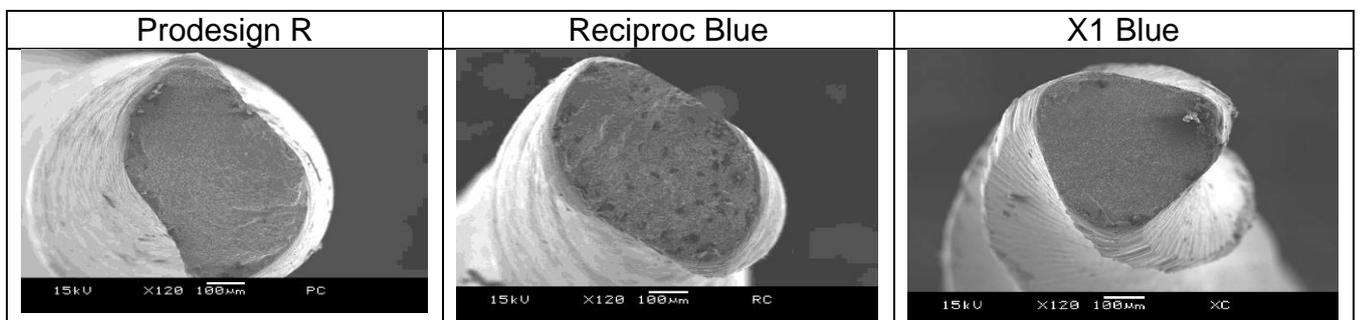


Figura 6 - Imagem em EDS da lima X1-Blue®.

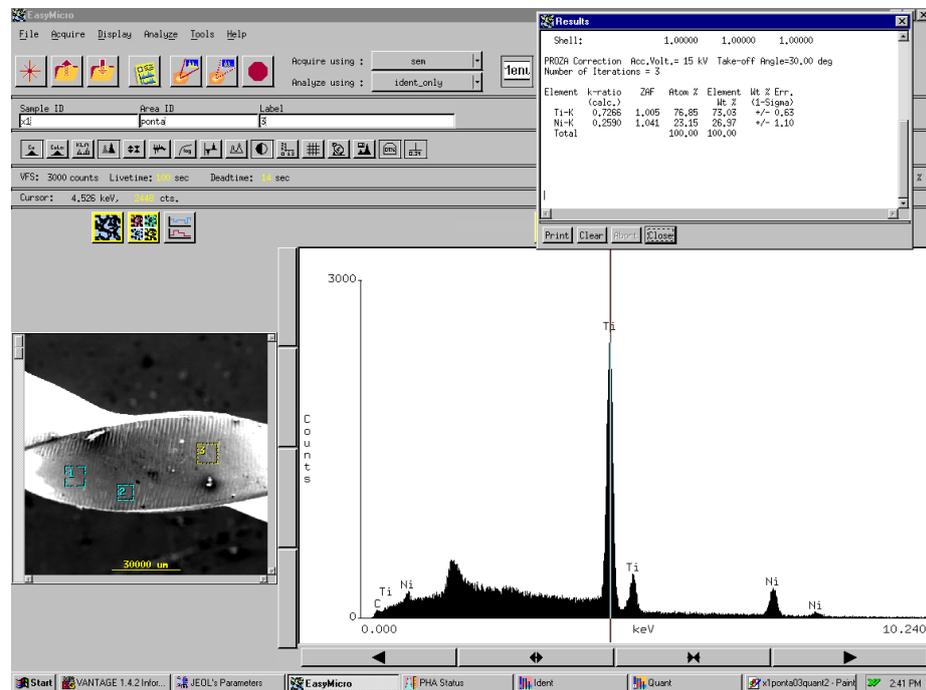


Figura 7 - Imagem em EDS da lima Reciproc Blue®.

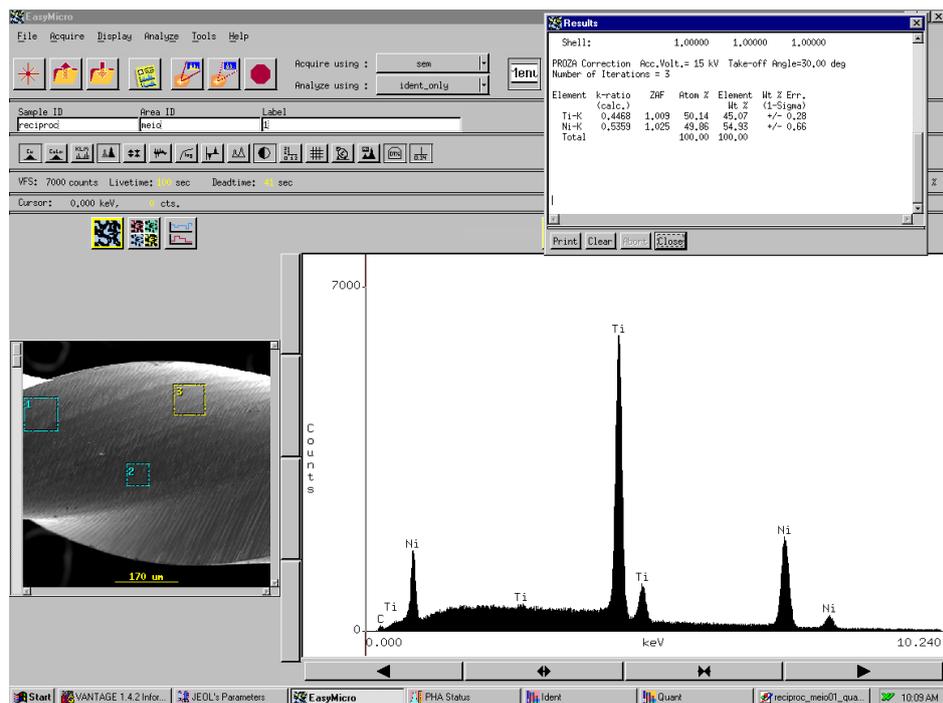
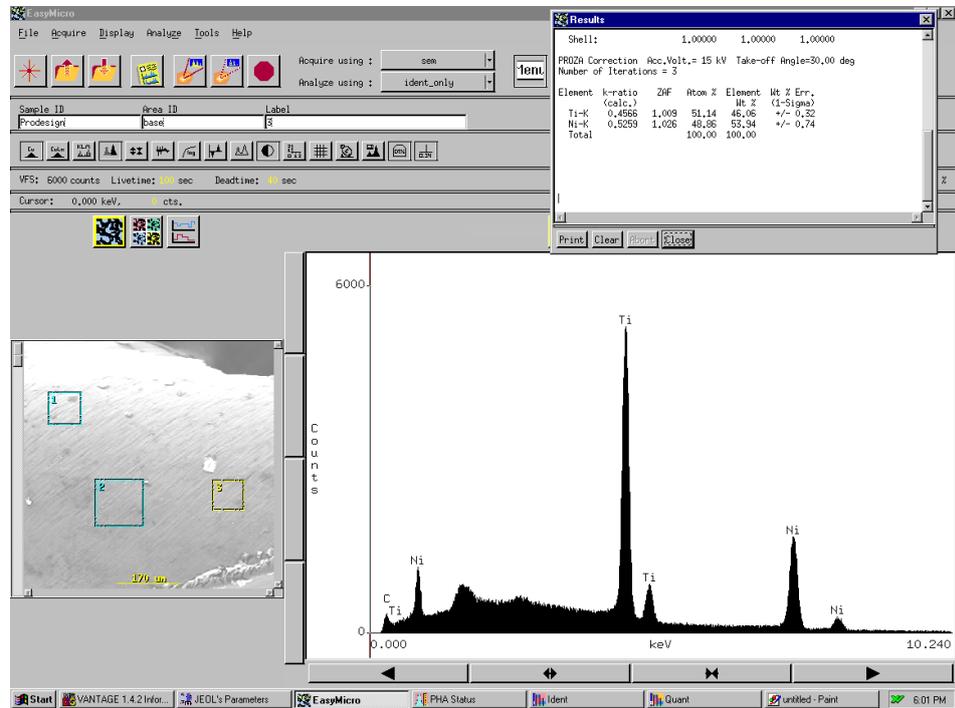


Figura 8 - Imagem em EDS da lima Prodesign R®.



6 DISCUSSÃO

Considerando que os resultados analisados estatisticamente mostraram que não houve diferença na ação das soluções irrigadoras aquecidas sobre a resistência à flexão de diferentes marcas de limas endodônticas reciprocantes, a hipótese considerada no estudo foi rejeitada.

Este estudo mostrou que o processo de fabricação promoveu irregularidades na superfície das limas (Figuras 3, 4 e 5), efeito também observado em estudos anteriores (Lopes HP. *et al.*, 2015; Shen Y. *et al.*, 2013), provavelmente devido ao procedimento de usinagem da lima. As irregularidades da superfície são áreas que concentram tensões e conseqüentemente podem gerar micro trincas durante o teste mecânico de resistência à flexão. Este fato poderia interferir negativamente na resistência coesiva da liga metálica, causando fraturas com menor número de ciclos mecânicos em limas submetidas ao teste *in vitro*, assim como naquelas usadas em preparos radiculares *in vivo* que exigem diferentes níveis de esforço mecânico de flexão durante o procedimento.

Entretanto, os resultados do estudo atual mostram que não houve diferença significativa nos valores de resistência à flexão quando os grupos RNa, RDC, PNa, PDC, XNa e XDC formados por limas de diferentes fabricantes quando foram comparados (Tabelas 6, 7 e 8) aos seus respectivos grupos controle (RSF, PSF e XSF); embora, houvesse diferença numérica entre os resultados (Tabela 1, Figuras 1 e 2).

No teste de efeitos (Tabela 2), com o objetivo de avaliar a influência dos fatores estudados sobre os resultados, o fator lima foi significativo ($p < 0,05$) enquanto os fatores solução e interação solução x lima não foram significantes ($p > 0,05$). Além disso também foi observado que houve diferença numérica entre o NCF para as diferentes soluções. Embora, esse resultado não tenha sido significativo ($p > 0,05$, Tabelas 3, 4 e 5), os diferentes testes estatísticos foram empregados para investigar qualquer interação que pudesse existir entre soluções e limas; porém, em todos os grupos analisados estatisticamente não houve relação significativa entre as variáveis independentes.

A comparação de dados pelo método *Pairwise* mostrou que as limas de diferentes marcas comerciais mostraram valores com diferença estatisticamente significativa (Tabela 6), fato que tornaria inapropriada a comparação dos valores de

NCF entre marcas comerciais. Esta informação baseia-se em dados mostrados em revisão sistemática que demonstram que as diferentes conicidades, secções transversais e características do núcleo de preenchimento existentes nas limas endodônticas interferem no modo como penetram e atuam mecanicamente no canal simulado. Além disso, proporcionaram diferentes valores de força aplicada e diferentes níveis de curvatura do instrumento durante o teste em canais padronizados (Plotino G. *et al.*, 2009).

Entretanto, estudo anterior mostrou que diferentes processos de fabricação promovem variações estruturais não similares entre as limas (Bulem ÜK *et al.*, 2013). Este fato também ocorreu quando foram diferentes as proporções dos constituintes das ligas de níquel-titânio, o tipo de conicidade do canal radicular e a secção transversal das limas, assim como o processo de estabilização da fase-R e o tipo de tratamento térmico (Shen Y. *et al.*, 2013).

Nesse contexto, as diferenças existentes entre as limas em relação à fabricação foram as seguintes: Reciproc Blue[®], dupla hélice, conicidade variável iniciando em 0,08 mm na porção apical e 44,83% de titânio; Prodesing R, dupla hélice, conicidade constante de 0,06 mm e 44,83% de titânio; e X1-Blue[®], triangular, conicidade constante de 0,06 mm e 63,10% de titânio (Tabela 9). Interferindo diretamente no resultado do trabalho instrumental, as diferentes secções transversais e conicidade para com a mesma distância em relação à região apical da lima mostraram variações que influenciam a distribuição da força específica para cada instrumento endodôntico (Plotino G. *et al.*, 2009). Essa variação resulta em diferentes NFC para cada marca comercial como demonstrado na análise estatística no teste de efeito (Tabela 2).

Em termos estatísticos, os resultados deste estudo mostraram que em todas as soluções irrigadoras, o NCF necessário para promover falha não foi significativo nos grupos formados com limas da mesma marca comercial (Figura 1, Tabelas 4 e 5), o que concorda com os resultados mostrados em estudos anteriores (Uslu G. *et al.*, 2018; Huang X. *et al.*, 2017; Pedulla E. *et al.*, 2018). No entanto, nas imagens obtidas por MEV foi possível verificar que todas as limas mostraram algum tipo de alteração de superfície promovido pelas diferentes soluções (Figuras do quadro 5.9). Este resultado indicaria possível interação química negativa e indesejável entre essas

soluções irrigadoras e limas confeccionadas com liga de níquel-titânio pela análise em EDS (Figuras 6,7 e 8, Tabelas 9 e 10).

A Tabela 1 mostra que apesar do NFC ser numericamente menor para as limas X1-Blue[®] submetidas à solução irrigadora de NaClO a 5,25% (grupo XNa), o valor estatístico foi similar quando comparado aos demais grupos (RNa e PNa), concordando com os resultados de estudo prévio (5). Por outro lado (Tabela 11 e 12), seria possível supor que quanto maior o tempo de ação das soluções irrigadoras sobre as limas, menor o NCF. Este fato estaria possivelmente relacionado com a proporção de níquel e titânio compondo a formulação da liga com 63,10% de titânio (Tabela 9), diferenciando das outras ligas comumente formuladas com valores médios de titânio entre 54 a 56% (Shen Y *et al.*, 2013). A menor proporção de níquel permitiria que a solução irrigadora de NaClO promovesse maior nível de interação negativa com a superfície da liga, causando menor resistência mecânica cíclica, condição que não ocorreria com outras soluções irrigadoras, como o Digluconato de clorexidina a 2% que não tem o mesmo potencial oxidante.

Entretanto, a menor concentração de níquel promoveu maiores valores numéricos de NCF nos grupos constituídos pelas limas Reciproc Blue[®] e Prodesign R[®], resultado de difícil entendimento quando se considera a similaridade da composição dessas ligas em relação ao níquel (Tabela 10). Contudo o que pode justificar essa diferença é a análise da secção transversal, conicidade e tratamento térmico. As limas Reciproc Blue[®] e Prodesign R[®] apresentam dupla hélice, mas divergem em conicidade, a Reciproc apresenta uma conicidade inicial maior e crescente enquanto a Prodesign apresenta conicidade menor e fixa. A conicidade maior agrega um núcleo mais maciço que é inversamente proporcional a resistência a flexão, podem assim justificar a diferença nos resultados entre as duas.

A lima Prodesign R[®] sob efeito da solução irrigadora de NaClO (5,25%) mostrou maior valor de NCF quando comparado às demais soluções (Tabelas 1 e 11). Este resultado poderia ser atribuído ao tratamento térmico usado para estabelecer predominância da fase martensítica em ligas metálicas, permitindo maior deformação elástica responsável pelo aumento da resistência mecânica como as características de secção transversal e conicidade. Esta composição permite que as limas sejam mais flexíveis e apresentem maior resistência à fratura cíclica e por torsão (Shen Y. *et al.*, 2018; Lopes HP. *et al.*, 2013). Além disso, essa constituição de ligas parece

explicar a diferença significativa nos valores de NCF ocorrida nos grupos constituídos pelas limas Prodesign R[®] neste estudo atual.

As limas Reciproc Blue[®] e Prodesing R mostraram similar proporção de níquel e titânio na composição (Tabelas 9 e 10), e secção transversal em dupla hélice; entretanto, com maior conicidade, condição que promoveria maior resistência mecânica à lima Prodesign R[®], conforme alegado em estudo anterior (Goo HJ. *et al.*, 2017). Por essa razão, esperava-se valores aproximados de NCF entre essas marcas de lima; porém, o resultado deste estudo não comprovou essa expectativa, provavelmente devido aos tratamentos térmicos e conicidades distintas de cada lima, como ocorre na estabilização da fase-R.

Maior NCF para a lima Prodesign R[®] também foi mostrado em estudo anterior (Alcalde MP. *et al.*, 2018). Por outro lado, a lima X1-Blue[®] mostrou o menor valor de NCF, provavelmente devido à predominância da fase austenítica mais rígida, com maior resistência à deformação seja pela menor quantidade de níquel ou pelo diferente tratamento térmico durante a confecção da lima, quando ambos os casos resultam em maior friabilidade e dureza (Lopes HP. *et al.*, 2015; Shen Y. *et al.*, 2013). Com base nessa suposição, outros estudos seriam necessários para verificar a influência da proporção de níquel na liga e seu efeito mecânico sobre as limas endodônticas.

De acordo com estudos anteriores, a solução irrigadora de Digluconato de clorexidina (2%) promove reatividade com as ligas de aço inoxidável (13) e níquel-titânio (Brar AS. *et al.*, 2015; Jamilian A. *et al.*, 2014; Rincic MM. *et al.*, 2019; Aghili H. *et al.*, 2017). Essa reatividade poderia também causar alterações na superfície de limas endodônticas composta por titânio em condições similares ao ocorrido nos bráquetes ortodônticos. Assim, as irregularidades formadas na superfície da lima podem concentrar tensões durante o teste de fadiga mecânica. As tensões concentradas quando liberadas seriam responsáveis pela formação e propagação de micro trincas, acelerando o processo de falha e conseqüente ocorrência de fratura precoce. Entretanto, essa solução irrigadora não promoveu alteração significativa em bráquetes ortodônticos quando comparada a outros tipos de soluções irrigadoras com pH entre 5,5 e 6,0 (Marion J. *et al.*, 2019; Nik HT. *et al.*, 2013); portanto, próximo do pH da solução fisiológica (6.0) usada como Controle nos grupos RSF, PSF e XSF.

Outro fato que poderia influenciar a menor interação entre solução irrigadora e liga metálica seria a forma de apresentação da solução, ou seja, a consistência em gel difere das soluções líquidas empregadas em outros estudos e utilizadas como solução irrigadora na prática endodôntica (Marion J. *et al.*, 2019). A razão da diferente interação dessas soluções estaria na viscosidade que limitaria o contato e consequente velocidade da reação, promovendo diversos níveis de reatividade com a liga metálica da lima. Assim, torna-se oportuno que estudos químicos e metalúrgicos sejam desenvolvidos para verificar o efeito dessas soluções irrigadoras sobre limas endodônticas produzidas com diferentes ligas metálicas.

7 CONCLUSÃO

Com base nos resultados analisados estatisticamente, pode-se emitir as seguintes conclusões:

- 1- Diferentes marcas de limas mostraram valores de fadiga mecânica cíclica com diferença significativa qualquer que fosse a solução irrigadora.
- 2- As limas Prodesign R apresentaram a maior resistência a fadiga cíclica.
- 3- As diferentes soluções irrigadoras aquecidas a de 37°C não influenciaram o número de fadiga mecânica cíclica (NCF).

REFERÊNCIAS

1. de Vasconcelos RA, Murphy S, Carvalho CA, Govindjee RG, Govindjee S, Peters AO. Evidence for reduced fatigue resistance of contemporary rotary instruments exposed to body temperature. *J Endod.* 2016; 42(5):782-787.
2. Arias A, Macorra JC, Govindiee A, Peters AO. Correlation between temperature-dependent fatigue resistance and differential scanning calorimetry analysis for 2 contemporary rotary instruments. *J Endod.* 2018; 44(4): 630-634.
3. Pedulla E, Grande NM, Plotino G. Influence of temperature on cyclic fatigue resistance of ProTaper Gold and ProTaper Universal rotary files. *J Endod.* 2017; 43(2): 200-202.
4. Alfawaz H, Alqedairi A, Alsharekh H, Almuzaini E, Alzahrani S, Jamleh A. Effects of sodium hypochlorite concentration and temperature on the cyclic fatigue of heat-treated nickel-titanium rotary instruments. *J Endo.* 2018; 44(10): 1563-1566.
5. Shen Y, Huang X, Wang Z, Wei X, Haapasalo M. Low Environmental temperature influences the fatigue resistance of nickel-titanium files. *J Endod.* 2018; 44(4):626-629.
6. Sâglam BC, Koçak MM, Topuz O. Effects of irrigation solutions on the surface of ProTaper instruments: a microscopy study. *Microscopy Res Tech.* 2012;75(11):1534-1538.
7. Uslu G, Özyürek T, Yılmaz K; Effect of sodium hypochlorite and EDTA on surface roughness of HyFlex CM and HyFlex EDM files. *Microscopy Res Tech.* 2018;81(12):1406-1411.
8. Ertuğrul IF, Orhan EO. Cyclic fatigue and energy-dispersive X-ray spectroscopy examination of the novel rotate instrument, *Microscopy Res Tech.* 2019;1-7.
9. Palma PJ, Messias A, Cerqueira AR, Tavares LD, Caramelo F, Roseiro L, et al. Cyclic fatigue resistance of three rotary file systems in a dynamic model after immersion in sodium hypochlorite. *Odontology.* 2019;107(3):324-332.
10. Keles A, Ozyurek EU, Uyanik MO, Nagas E. Effect of temperature of sodium hypochlorite on cyclic fatigue resistance of heat-treated reciprocating files. *J Endod.* 2019; 45(2): 205-208.
11. Marion J, Pavan K, Arruda MEBF, Nakashima L, Morais CAH. Chlorhexidine and its applications in endodontics: a literature review. *Dental Press Endod.* 2013; 3(3): 36-54.

12. Brar AS, Singla A, Mahajan V, Jaj HS, Seth V, Negi P. Reliability of organic mouthwashes over inorganic mouthwashes in the assessment of corrosion resistance of Ni-Ti arch wires. *J Indian Orthod Soc.* 2015;49(3):129-133.
13. Danaei SM, Safavi A, Roeinpeikar SM, Oshagh M, Iranpour S, Omidkhoda M. Ion release from orthodontic brackets in 3 mouthwashes: An *in-vitro* study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011; 139:730-734.
14. Jamilian A, Moghaddas O, Toopchi S, Perillo. Comparison of nickel na chromium ions from stainless steel and Ni-Ti wires after immersion in Oral B, Orthokin, and artificial saliva. *J Contemp Dent Pract.* 2014: 15(4): 304-406.
15. Nalbantgil D, Ulkur F, Kardas G, Culha M. Evaluation of corrosion resistance and surface characteristics of orthodontic wires immersed in different mouthwashes. *Biomed Mater Eng.* 2016; 27(5): 539-549.
16. Rincic MM, Karlovic S, Ciganj Z, Acev DP, Pavlic A, Spalj S. Oral antiseptics and nickel-titanium alloys: mechanical and chemical effects of interaction. *Odontology.* 2019, 107(2):150-157.
17. Huang X, Shen Y, Wang Z, Wei X, Wei X, Haapasalo M. Fatigue resistance of nickel-titanium instruments exposed to high-concentration hypochlorite, *J Endod.* 2017; 43(11): 1847-1851.
18. Pedulla E, Benites A, La Rosa GM, Plotino G, Grande NM, Rapisarda E, et al. Cyclic fatigue resistance of heat-treated nickel-titanium instruments after immersion in sodium hypochlorite and/or sterilization. *J Endod.* 2018, 44(4): 648-653.
19. Erik CE, Özyürek T. Effects of etidronate, NaOCl, EDTA irrigation solutions and their combinations on cyclic fatigue resistance of nickel-titanium single-file rotary and reciprocating instruments at body temperature. *Odontology.* 2019; 107(2): 190-195.
20. Lopes HP, Siqueira JF. *Endodontia: biologia e técnica* 4^a ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2015.
21. Thompson SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J.* 2000; 33 (4): 297-310. 14.
22. Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M. Mechanical root canal preparation with Ni-Ti rotatory instruments: rationale, performance and safety. *Am J Dent.* 2001; 14(5):324-33.

23. Schäfer E, Florek KH. Efficiency of rotary nickel-titanium K3 instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile. Part I: Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J.* 2003; 36 (3): 199-207.
24. 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): 163-172.
25. Pedulla E, Grande NM, Plotino G. Influence of continuous or reciprocating motion on cyclic fatigue resistance of 4 different nickel titanium rotatory. *J Endod.* 2018; 39(2): 258-261.
26. Lopes HP, Elias CN, Veira MVB, Siqueira JF Jr, Mangelli M, Lopes WS, Vieira VTL, Alves FR, Oliveira JC, Soares TG. Fatigue life of Reciproc and Mtwo instruments subjected to static and dynamic tests. *J Endod.* 2013; 39(5): 693-696.
27. 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): 541-544.
28. Plotino G, Grande NM, Cordaro M, Testarelli L, Gambarini G. A review of cyclic fatigue testing of nickel-titanium rotary instruments. *J Endod.* 2009;35(11):1469-1476.
29. Bulem ÜK, Kececi AD, Guldaz HE. Experimental evaluation of cyclic fatigue resistance of four different nickel-titanium instruments after immersion in sodium hypochlorite and/or sterilization. *J Appl Oral Sci.* 2013;21(6): 505-510.
30. Lopes HP, Gambarra-Soares T, Elias CN, Siqueira JF Jr, Inojosa IF, Lopes WS, et al. Comparison of the mechanical properties of rotary instruments made of conventional nickel-titanium wire, M-wire, or nickel-titanium alloy in R-phase. *J Endod.* 2013; 39(4): 516-520.
31. Goo HJ, Kwak SW, Ha JH, Pedulla E, Kim HC. Mechanical Properties of various Heat-Treated Nickel-titanium Rotary Instruments. *J Endod.* 2017; 43(11): 1872-1877.
32. Alcalde MP, Duarte MAH, Bramante CM, de Vasconcelos BC, Tanomaru-Filho M, Guerreiro-Tanomaru JM, et al. Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. *Clin Oral Investig.* 2018; 22(4):1865-1871.

33. Aghili H, Yassaei S, Eslami F. Evaluation of the effect of three mouthwashes on the mechanical properties and surface morphology of several orthodontic wires: An *in vitro* study. Dent Rest J. 2017;14(4): 252-259.
34. Nik HT, Hooshmand T, Farazdaghi H, Mehrabi A, Razavi ES. Effect of chlorhexidine-containing prophylactic agent on the surface characterization and frictional resistance between orthodontic brackets and arch wires: an in vitro study. Prog Orthod. 2013; 20:14-48.

ANEXOS

Anexo 1: Figura 9

Dispositivo para teste de fadiga à flexão cíclica simulando canal radicular.



Anexo 2: Figura 10

Dispositivo para teste de fadiga à flexão cíclica com canal radicular curvo simulado.



Anexo 3: Figura 11

Ambiente com temperatura controlada para o teste.



Anexo 4: Figura 12

Frasco para armazenagem em estufa da solução irrigadora.



Anexo 5: Figura 13

Limas Reciproc Blue® (A), X1-Blue® (B) e Prodesign R® (C) antes da armazenagem nas soluções irrigadoras.



Anexo 6: Figura 14

Lima X1-Blue® nova comparada às fraturadas em teste.



Anexo 7: Figura 15

Lima Reciproc Blue® nova comparada às fraturadas em teste.



Anexo 8: Figura 16

Lima Prodesing R[®] nova comparada às fraturadas em teste.



Anexo 9: Relatório de similaridade

versao final

RELATÓRIO DE ORIGINALIDADE



FONTES PRIMÁRIAS

1	repositorio.unicamp.br Fonte da Internet	9 %
2	teses.usp.br Fonte da Internet	1 %
3	idoc.pub Fonte da Internet	1 %
4	www.dentalpress.com.br Fonte da Internet	1 %
5	docplayer.com.br Fonte da Internet	1 %
6	repositorio.ufu.br Fonte da Internet	<1 %
7	www.floram.org Fonte da Internet	<1 %
8	pesquisa.bvsalud.org Fonte da Internet	<1 %
9	hdl.handle.net Fonte da Internet	<1 %