

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

FACULDADE DE ODONTOLOGIA

NATÁLIA FELIZARDO DE OLIVEIRA

EFEITO DAS SOLUÇÕES IRRIGADORAS SOBRE OS INSTRUMENTOS
IRRISAFE E XP ENDO UTILIZADOS NA IRRIGAÇÃO FINAL DOS CANAIS
RADICULARES

RIO DE JANEIRO

2017

NATÁLIA FELIZARDO DE OLIVEIRA

Efeito das soluções irrigadoras sobre os instrumentos Irrisafe e XP Endo
utilizados na irrigação final dos canais radiculares.

Dissertação submetida como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Clínica Odontológica, pela
Faculdade de Odontologia da
Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Orientadoras:

Dr^a Patrícia de Andrade Risso

Prof^a Adjunta do Departamento de
Clínica Odontológica da FO/UFRJ

Dr^a Fabiola Ormiga

Prof^a Substituta do Departamento de
Clínica Odontológica da FO/UFRJ

RIO DE JANEIRO

2017

046e Oliveira, Natalia Felizardo de Efeito das
soluções irrigadoras sobre os instrumentos
Irrisafe e XP Endo utilizados na irrigação final
dos canais radiculares / Natalia Felizardo de
Oliveira. -- Rio de Janeiro, 2017.
60 f.

Orientadora: Patricia Risso.

Coorientadora: Fabíola Ormiga.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do
Rio de Janeiro, Faculdade de Odontologia, Programa de
Pós-Graduação em Odontologia, 2017.

1. Irrigantes do canal radicular. 2. Tratamento
endodôntico . 3. Clínica Odontológica - dissertação. 4.
Universidade Federal do Rio de Janeiro. I. Risso, Patricia,
orient. II. Ormiga, Fabíola, coorient.
III. Título.

Folha de Aprovação

NATÁLIA FELIZARDO DE OLIVEIRA

EFEITO DAS SOLUÇÕES IRRIGADORAS SOBRE OS INSTRUMENTOS IRRISAFE
E XP ENDO UTILIZADOS NA IRRIGAÇÃO FINAL DOS CANAIS RADICULARES.

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Clínica Odontológica (Mestrado Profissional) da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Clínica Odontológica.

Aprovada em: Rio de Janeiro, 01 de fevereiro de 2017.

Profª Drª Fabiola Ormiga, DDS, UFRJ

Profª Drª Heloisa Gusman, DDS, UFRJ

Prof. Dr. José Antônio Ponciano, DDS, UFRJ

Dedico este trabalho

Ao meu esposo Roberto por estar sempre ao meu lado, pelo amor, amizade e sua interminável paciência.

Aos meus pais por viverem meus sonhos junto comigo, pelo amor incondicional, apoio e incentivo. Obrigado por serem minha fortaleza e tenho muito orgulho dos valores que me passaram.

A minha avó Geysa, por estar sempre presente, pela atenção, carinho e orações.

À Molly e Amora por me alegrarem todos os dias.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por todas as bênçãos, por todo novo dia que me é concedido para percorrer meus objetivos.

A Prof^a Patricia de Andrade Risso por ter me dado a oportunidade de pesquisar há 5 anos atrás e ter contribuído para as minhas conquistas na endodontia. Agradeço pela amizade, apoio, incentivo e dedicação em me orientar. Obrigado por incentivar meu crescimento profissional.

A Prof^a Fabíola Ormiga Barbosa Soares pela parceria e amizade criada ao longo dos anos. Agradeço por confiar este projeto a mim, pela incansável disposição em me ajudar, pelos ensinamentos, incentivo e carinho.

Ao Prof. José Antonio da Cunha Ponciano Gomes por ter me recebido no LabCorr, pela confiança depositada ao meu projeto, pelas ideias dadas, atenção e paciência em me ensinar.

À equipe do LabCorr, em especial a Adriana, Caroline e Eduardo, pelo convívio agradável, apoio e por dividirem seus conhecimentos comigo, e Lyzia e Juliana, pela ajuda na obtenção do EDTA utilizado.

Aos técnicos do LabCorr Alecir, Wellington, Roberto Carlos e Lucas por preparem minhas amostras, células e estarem sempre dispostos a ajudar.

Aos meus colegas de curso pela boa convivência, troca de experiências e palavras de incentivo.

RESUMO

Introdução: O objetivo deste estudo foi avaliar a resistência à corrosão das pontas de irrigação ultrassônica passiva Irrisafe® (Satelec/Acteon Group, Bordeaux, França) e dos instrumentos endodônticos XP Endo® (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Switzerland), nas soluções irrigadoras hipoclorito de sódio (NaClO) 5,25%, ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) 17% e clorexidina (CLX) 2%. O comportamento de ligas metálicas de aço inoxidável e NiTi nestas soluções também foi avaliado.

Metodologia: Trinta novas pontas Irrisafe® e trinta novos instrumentos XP Endo® foram submetidos a ensaios de imersão dinâmica nas soluções irrigadoras NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%. Cada instrumento foi submetido a dois ensaios na mesma solução com durações de 5 e 15 minutos. Antes e após cada ensaio, todos os instrumentos foram observados por microscopia eletrônica de varredura (MEV) para análise da superfície. Curvas redox das soluções de NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2% e curvas de polarização anódica de ligas metálicas de aço inoxidável e NiTi nestas soluções foram obtidas. **Resultados:** Não houve sinais de corrosão em nenhuma das pontas Irrisafe® e dos instrumentos XP Endo® ensaiados, independentemente do tempo de ensaio e da solução de teste utilizada. Os ensaios de polarização anódica de ambas as ligas metálicas na solução de NaClO 5,25% mostraram baixos valores de corrente até o potencial de +500 mV_{ECS}. As curvas de polarização anódica nas soluções de EDTA 17% e CLX 2% mostraram um trajeto semelhante ao da curva redox da solução em ambas as ligas metálicas. **Conclusão:** Concluiu-se que as pontas ultrassônicas Irrisafe® e os instrumentos endodônticos XP Endo® não sofrem corrosão nas soluções de NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%. As ligas metálicas de aço inoxidável podem sofrer corrosão em solução de NaClO 5,25%, mas não sofrem corrosão em soluções de EDTA 17% e CLX 2%. A liga

metálica de NiTi não sofre corrosão nas soluções NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%.

DESCRITORES: CORROSÃO, ENDODONTIA, HIPOCLORITO DE SÓDIO

ABSTRACT

Introduction: The objective of this study was to evaluate the corrosion resistance of Irrisafe® (Satelec/Acteon Group, Bordeaux, França) passive ultrasonic irrigation tips and XP Endo® (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Switzerland) endodontic instruments in 5,25% sodium hypochlorite (NaClO), 17% EDTA and 2% chlorhexidine (CLX) irrigating solutions. The behavior of stainless steel and NiTi alloys in these solutions was also evaluated. **Methodology:** Thirty new Irrisafe® tips and thirty new XP Endo® instruments were submitted to dynamic immersion tests in 5,25% NaClO, 17% EDTA and 2% CLX irrigating solutions. Each instrument was submitted to two tests using the same solution for 5 and 15 minutes. Before and after each test, the surface of all instruments was analyzed by scanning electron microscopy (SEM). Redox curves of 5,25% NaClO, 17% EDTA and 2% CLX solutions and anodic polarization curves of both metal alloys in these solutions were obtained. **Results:** Signs of corrosion were not observed in any of the Irrisafe® tips and XP Endo® instruments tested, regardless of test time and solution used. Anodic polarization tests of both metallic alloys in 5,25% NaClO solution showed low current values to +500 mV_{ECS} potential. Anodic polarization tests of both metallic alloys in 17% EDTA and 2% CLX showed a similar path to redox curve solutions for both metallic alloys. **Conclusion:** It was concluded that Irrisafe® tips and XP Endo® endodontic instruments were not corroded in 5,25% NaClO, 17% EDTA and 2% CLX irrigating solutions. The stainless steel alloy suffered corrosion in 5,25% NaClO solution, but not in 17% EDTA and 2% CLX. NiTi alloy did not suffer corrosion in 5,25% NaClO, 17% EDTA and 2% CLX irrigating solutions.

KEYWORDS: CORROSION, ENDODONTICS, SODIUM HYPOCHLORITE

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ponta ultrassônica Irrisafe

Figura 2 - Mecanismo de ação do instrumento XP Endo

Artigo 1

Figura 1 – Microscopia eletrônica de varredura das pontas ultrassônicas Irrisafe® antes e após imersão dinâmica por 5 e 15 minutos nas soluções NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%.

Figura 2 – Curva redox e curvas de polarização anódica das ligas de aço 304L e 316L nas soluções NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%.

Figura 3 – Microscopia óptica aços 304L e 316L antes e após os ensaios nas soluções NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%.

Artigo 2

Figura 1 – Microscopia eletrônica de varredura dos instrumentos endodônticos XP Endo® antes e após imersão dinâmica por 5 e 15 minutos nas soluções NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%.

Figura 2 – Curva redox e curvas de polarização anódica da liga de NiTi nas soluções NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%.

Figura 3 – Microscopia óptica do NiTi antes e após os ensaios nas soluções NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ag/AgCl – Prata/Cloreto de prata

Cl⁻ - íon cloreto

CLX – Clorexidina

ECS – Eletrodo de calomelano saturado

EDTA – Ácido etilenodiaminotetracético

MEV – Microscopia eletrônica de varredura

NaClO – Hipoclorito de sódio

NiTi – Níquel-titânio

OCP – Potencial de circuito aberto

PUI – Irrigação Ultrassônica Passiva

SCR – Sistema de canais radiculares

SUMÁRIO

1. Introdução	12
2. Objetivo	
2.1 Geral	18
2.2 Específico	18
3. Delineamento do estudo	19
3.1 Artigo 1	20
3.2 Artigo 2	37
4. Conclusão	52
5. Referências	53

1. INTRODUÇÃO

O sucesso da terapia endodôntica depende do completo preparo químico-mecânico do sistema de canais radiculares (SCR) (Alturaki *et al.*, 2015 e Karatas *et al.*, 2015). A instrumentação mecânica, isolada, não é suficiente para realizar a desinfecção dos canais devido à alta complexidade anatômica (Alturaki *et al.*, 2015). Assim, o uso de soluções irrigadoras é fundamental para atingirem áreas inacessíveis aos instrumentos endodônticos, agirem como lubrificantes, promoverem a eliminação de biofilme planctônico (van der Sluis *et al.*, 2007), removerem matéria orgânica (Karatas *et al.*, 2015) e smear-layer das paredes dentinárias (Leoni *et al.*, 2016).

Dentre as soluções irrigadoras disponíveis, destacam-se o hipoclorito de sódio (NaClO), a clorexidina (CLX) e o ácido etilenodiaminotetracético (EDTA). O NaClO é a solução irrigadora mais utilizada mundialmente, devido a sua ação antimicrobiana e solvente de matéria orgânica (Almeida *et al.*, 2014). A CLX possui eficiente ação bactericida (Valera *et al.*, 2013) e substantividade (Souza *et al.*, 2012), entretanto sua principal desvantagem é não dissolver matéria orgânica. Em adição, o EDTA é utilizado durante a irrigação final para remoção de smear-layer (Llena *et al.*, 2015).

Rotineiramente, a irrigação do SCR é feita pela técnica convencional com o uso de seringas e agulhas. Tal método pode ser considerado adequado para a limpeza dos terços cervical e médio do canal, porém não têm a mesma eficácia no terço apical, devido à morfologia do canal radicular, que torna o fluxo da solução difícil (Tanomaru *et al.*, 2015). Caso, não haja uma pressão positiva adequada, o irrigante não chega ao comprimento de trabalho e caso haja uma pressão excessiva,

pode ocorrer o seu extravasamento, que pode produzir dano tecidual, dor e edema (Iriboz *et al.*, 2015).

Assim, em função destas limitações novos sistemas de irrigação têm sido propostos (Tanomaru *et al.*, 2015), como a irrigação ultrassônica passiva (PUI). A PUI produz uma vibração acústica da solução irrigadora através de uma ponta ultrassônica ou lima, a qual deve trabalhar livremente no interior de um canal radicular previamente instrumentado (Ayranci *et al.*, 2015 e van der Sluis *et al.*, 2007).

Essa dinâmica ultrassônica traz vantagens à desinfecção do canal, como melhora da ação antimicrobiana, acesso a áreas anatômicas complexas e remoção de debris e smear-layer dos túbulos dentinários (Llena *et al.*, 2015 e van der Sluis *et al.*, 2007).

Atualmente, encontram-se disponíveis no mercado diversas pontas ultrassônicas para PUI, dentre elas a Irrisafe® (Satelec/Acteon Group, Bordeaux, França). Segundo o fabricante esta ponta é fabricada em aço inoxidável e recebe um tratamento de superfície que foi desenvolvido para melhorar a transmissão do movimento ultrassônico. A Irrisafe® (figura 1) possui um formato paralelo, diâmetro compatível com uma lima #25, sem ação de corte e pode ser usada em todo o comprimento do canal radicular sem causar extrusão apical ou danos à anatomia.



Figura 1. Ponta ultrassônica Irrisafe.

Adicionalmente, como alternativa a PUI, um novo instrumento denominado XP Endo® (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Switzerland) foi proposto. Este instrumento é de Níquel Titânio (NiTi) com diâmetro equivalente a uma lima #25, conicidade zero e recebe um tratamento térmico MaxWire que confere alta flexibilidade ao material e proporciona alteração de comportamento de acordo com as mudanças de temperatura. Abaixo de 30°C, o instrumento encontra-se na fase martensítica e num formato reto, porém quando é exposto à temperatura de 35° a 37°C no interior do canal, passa para a fase austenítica e assume um formato arredondado ou abaulado em seus 10 mm finais, com uma profundidade de aproximadamente 1,5 mm. Quando rotacionado, a ponta do instrumento atinge um diâmetro de 3 mm (Figura 2) e quando comprimida, pode expandir até 6 mm de diâmetro. Isso permite o acesso e a limpeza de áreas muito complexas do canal radicular, sem cortar dentina.

Fase martensítica – abaixo de 30°C



Fase austenítica – temperatura corpórea



Em rotação

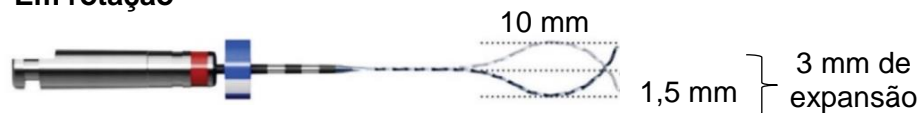


Figura 2. Mecanismo de ação do instrumento XP Endo (figura adaptada do artigo Alves *et al.*, 2016).

Por outro lado, o contato das soluções irrigadoras com os instrumentos endodônticos durante o tratamento endodôntico pode promover a corrosão dos mesmos. A corrosão é a deterioração de um material, principalmente metálico, por ação química ou eletroquímica de agentes corrosivos do meio ambiente em que aquele material se encontra. Em contrapartida a resistência a corrosão de um material é a capacidade do mesmo em suportar as ações dos agentes corrosivos sem deteriorar.

Sarkar *et al.* (1983) avaliaram a resistência à corrosão de fios ortodônticos de aço inoxidável na presença de NaClO 1% através de curvas de polarização e concluíram que não ocorreu corrosão significativa na liga. Entretanto Stokes *et al.* (1999) avaliaram, por microscopia eletrônica de varredura (MEV), a corrosão, de 72 limas de aço inoxidável imersas por uma hora em NaClO 5,25% e demonstraram que 37% das limas apresentaram sinais de corrosão. Saghiri *et al.* (2012) avaliaram a corrosão em limas Hedstroem através da imersão em NaClO 5,25%, sangue, água deionizada e tampão salino de fosfato durante 30 minutos e constataram que o NaClO 5,25% promoveu a maior taxa de corrosão.

O processo de corrosão em limas de NiTi ocorre pela remoção de níquel da superfície levando a formação de *pits* (Sarkar *et al.*, 1983). O *pit* é uma forma de corrosão que ocorre em formato de pontos ou pequenas áreas localizadas na superfície de um metal. Foi relatado que limas rotatórias RaCe[®] sofreram deterioração da superfície após 5 min de imersão em NaClO 5,25% (Topuz *et al.*, 2006), enquanto outro estudo (Peters *et al.*, 2007) demonstrou sinais de corrosão de diferentes limas de NiTi após imersão por mais de 2 horas em NaClO 5,25%.

Por outro lado, outros estudos demonstraram que a ação do NaClO, em diferentes concentrações, sobre as propriedades de morfologia de superfície do NiTi é mínima (Barbosa *et al.*, 2007; Martins *et al.*, 2006; Stokes *et al.*, 1999 e Busslinger *et al.*, 1998). A resistência à corrosão dos instrumentos rotatórios de NiTi ProTaper Universal[®] e ProFile[®] não foi afetada após a imersão em NaClO em diferentes concentrações numa variação de tempo de 45 segundos até 24 horas (Pedullà *et al.*, 2014 e Martins *et al.*, 2006). Estudos que analisaram instrumentos rotatórios de NiTi com tratamento térmico Twisted[®] Files, Revo S SU[®], Mtwo[®], Reciproc[®] e WaveOne[®] também não demonstraram corrosão após imersão em NaClO em diferentes concentrações e tempos (Pedullà *et al.*, 2014 e Pedullà *et al.*, 2011).

Tanto a Irrisafe[®] quanto o instrumento XP Endo[®] são utilizados na irrigação final dos canais radiculares, sendo assim podem estar em contato com todas as soluções irrigadoras utilizadas na prática clínica endodôntica. Assim, como é ainda controverso, que as soluções irrigadoras podem gerar corrosão nos instrumentos endodônticos, é preciso avaliar o comportamento desses instrumentos em diferentes irrigantes, para que haja segurança na prática clínica.

A Irrisafe[®] trabalha livremente dentro do canal radicular, podendo ser usada mais de uma vez, segundo o fabricante. Tal condição sugere que possa ocorrer

degradação dessa ponta devido a ação corrosiva das soluções irrigadoras durante o tratamento endodôntico. Por outro lado, o instrumento XP Endo®, embora indicado para uso único pelo fabricante, apresenta um comportamento inovador, uma mudança de fase e formato durante sua utilização. Não é sabido se esse fato associado ao uso das soluções irrigadoras durante o tratamento endodôntico pode gerar corrosão do instrumento.

2. OBJETIVO

2.1. Geral

Estudar o efeito das soluções irrigadoras sobre a resistência à corrosão de instrumentos de irrigação final dos canais radiculares.

2.2. Específicos

- Avaliar a resistência à corrosão das pontas de irrigação ultrassônica passiva Irrisafe® (Satelec/Acteon Group, Bordeaux, França), nas soluções irrigadoras NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%.
- Avaliar o comportamento das ligas metálicas de aço inoxidável 304L e 316L nas soluções de NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%
- Avaliar a resistência à corrosão dos instrumentos endodônticos XP Endo® (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Suíça) nas soluções irrigadoras NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%.
- Avaliar o comportamento da liga metálica de NiTi nas soluções de NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%.

2. DELINEAMENTO DO ESTUDO

De acordo com os objetivos propostos foram desenvolvidos 02 artigos científicos.

Artigo 1. Influencia das soluções de hipoclorito de sódio, EDTA e clorexidina nas pontas ultrassônicas Irrisafe[®] de aço inoxidável.

Artigo 2. Influencia das soluções de hipoclorito de sódio, EDTA e clorexidina nos instrumentos endodônticos XP Endo[®] de NiTi.

3.1 ARTIGO 1

INFLUENCIA DAS SOLUÇÕES DE HIPOCLORITO DE SÓDIO, EDTA E CLOREXIDINA NAS PONTAS ULTRASSÔNICAS IRRISAFE[®] DE AÇO INOXIDÁVEL

Natália Felizardo de Oliveira, DDS, MSc Student^a

José Antônio da Cunha Ponciano Gomes, MSc, DSc^b

Fabiola Ormiga Barbosa Soares, DDS, MSc, PhD^a

Patricia A Risso, DDS, MSc, PhD^a

^a Departamento de Clínica Odontológica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rua Prof. Rodolpho Paulo Rocco 325 / 2º andar, Ilha da Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ - Cep: 21.941-913, Brazil

^b Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro - Centro de Tecnologia - Bloco F, sala F-214 Ilha do Fundão Caixa Postal 68505, Rio de Janeiro, RJ - Cep: 21941-972, Brazil.

Autor de correspondência: Patrícia de Andrade Risso. Rua Prof Rodolpho Paulo Rocco 325 / 2º andar, Cidade Universitária – Rio de Janeiro - Brazil – CEP: 21.941-913 (Phone: +552139382032, Email: patriciarisso@ufrj.br)

Resumo

Introdução: O objetivo deste estudo foi avaliar a resistência à corrosão das pontas de irrigação ultrassônica passiva Irrisafe® (Satelec/Acteon Group, Bordeaux, França), nas soluções irrigadoras hipoclorito de sódio (NaClO) 5,25%, EDTA 17% e clorexidina (CLX) 2%. O comportamento da liga metálica de aço inoxidável nestas soluções também foi avaliado. **Metodologia:** Trinta novas pontas ultrassônicas Irrisafe® foram submetidas a ensaios de imersão dinâmica nas soluções irrigadoras NaClO 5,25%, CLX 2% e EDTA 17%. Cada ponta foi submetida a dois ensaios na mesma solução com durações de 5 e 15 minutos. Antes e após cada ensaio, as pontas foram observadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) para análise da superfície. Curvas redox das soluções de NaClO 5,25%, CLX 2% e EDTA 17% e curvas de polarização anódica de duas ligas de aço inoxidável nestas soluções foram obtidas. **Resultados:** Não houve sinais de corrosão em nenhuma ponta ultrassônica ensaiada, independentemente do tempo de ensaio e da solução de teste utilizada. Os ensaios de polarização anódica na solução de NaClO 5,25% mostraram aumento de corrente acima de +500 mV_{ECS}, sendo que esta curva não acompanhou a curva redox desta solução. As curvas de polarização anódica nas soluções de EDTA 17% e CLX 2% mostraram um perfil semelhante ao da curva redox da solução. **Conclusão:** Concluiu-se que as pontas ultrassônicas Irrisafe® não sofrem corrosão quando ativadas por vibração ultrassônica em imersão nas soluções de NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%. As ligas metálicas de aço inoxidável podem sofrer corrosão em solução de NaClO 5,25%, mas não sofrem corrosão em soluções de EDTA 17% e CLX 2%.

Palavras-chave: Aço inoxidável, corrosão, clorexidina, EDTA, hipoclorito de sódio, irrigação ultrassônica passiva.

INTRODUÇÃO

As soluções irrigadoras contribuem para a limpeza e desinfecção do sistema de canais radiculares (SCR) por poderem atingir áreas anatômicas complexas inacessíveis ao preparo mecânico (Iriboz *et al.*, 2015 e Almeida *et al.*, 2014). O hipoclorito de sódio (NaClO) é a solução irrigadora mais utilizada em endodontia (Enalghy *et al.*, 2016), seguido da clorexidina (CLX) por causa da substantividade (Gomes *et al.*, 2013) e o ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) para remoção de smear-layer (Zehnder 2006).

Devido às limitações da irrigação convencional, a vibração acústica da solução irrigadora através de um instrumento não cortante e livre no canal foi proposta e denominada irrigação ultrassônica passiva (PUI) (van der Sluis *et al.*, 2007). A PUI aumenta o fluxo da solução, o que favorece a limpeza das áreas inacessíveis (Iriboz *et al.*, 2015). Dentre os instrumentos utilizados para PUI, podemos destacar as pontas ultrassônicas Irrisafe® (Satelec/Acteon Group, Bordeaux, França), que segundo o fabricante são de aço inoxidável e possuem um tratamento de superfície para melhorar a transmissão do movimento ultrassônico.

Alguns estudos avaliaram a eficácia das pontas ultrassônicas Irrisafe® durante a PUI (Wigler *et al.*, 2016, Llena *et al.*, 2015, Mozo *et al.*, 2014). De acordo com Llena *et al.*, (2015), a realização de PUI com Irrisafe® #20, melhora a profundidade de penetração das soluções de clorexidina 2% e NaClO 2,5% nos túbulos dentinários. Mozo *et al.*, (2014), concluíram que a utilização de pontas Irrisafe® com diâmetro #20 e #25 foram igualmente eficazes na agitação da solução de NaClO 2,5% para a remoção de debris e limpeza dos túbulos dentinários, sendo superiores à irrigação convencional. Wigler *et al.*, (2016)

observaram que os instrumentos Irrisafe® #20 e XP Endo #25 possuem eficácia semelhante na remoção do hidróxido de cálcio de ranhuras no terço apical do canal radicular quando utilizados para a agitação da solução de NaClO 4%.

O contato das soluções irrigadoras com os instrumentos endodônticos pode promover corrosão dos mesmos, embora não haja um consenso em relação a esta questão (Barss *et al.*, 1996, Stokes *et al.*, 1999, Oztan *et al.*, 2002, Darabara *et al.*, 2004, Praisarnti *et al.*, 2010, Saghiri *et al.*, 2012, Pedullà *et al.*, 2014). Segundo Praisarnti *et al.*, (2010), o cloro liberado pelo NaClO em concentrações de 3% a 6%, ataca a superfície do aço inoxidável, devido aos íons cloreto presentes no meio que são corrosivos para este material. Barss *et al.*, (1996), Stokes *et al.*, (1999) e Saghiri *et al.*, (2012) observaram por microscopia eletrônica de varredura (MEV), corrosão em limas de aço inoxidável após imersão em NaClO 5,25% por 24 horas, 1 hora e 30 minutos, respectivamente. Oztan *et al.*, (2002) demonstraram corrosão em limas Kerr imersas em NaClO 5,25% e CLX 0,2% por 20 minutos, porém o mesmo não foi observado em EDTA 17%. Darabara *et al.*, (2004) não constataram sinais de corrosão em limas Kerr de aço inoxidável expostas às soluções de NaClO 5,25% e EDTA 17% por 1 hora.

Neste contexto, as diferentes soluções irrigadoras utilizadas durante a PUI podem provocar corrosão nas pontas ultrassônicas de aço inoxidável. Desta forma, este estudo tem como objetivo avaliar a resistência à corrosão das pontas ultrassônicas Irrisafe® (Satelec/Acteon Group, Bordeaux, França) ativadas por vibração ultrassônica em imersão nas soluções irrigadoras NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%. O comportamento da liga metálica de aço inoxidável nestas soluções também foi avaliado.

MATERIAIS E MÉTODOS

ENSAIO DE IMERSÃO DINÂMICA

Trinta pontas ultrassônicas Irrisafe® (Satelec/Acteon Group, Bordeaux, França) de tamanho 25 mm e diâmetro 0,25mm, foram submetidas a ensaios de imersão dinâmica. As pontas foram distribuídas aleatoriamente em 3 grupos (n=10) de acordo com a solução irrigadora de teste: NaClO 5,25%, CLX 2% e EDTA 17%. Todas as pontas foram observadas por MEV (JEOL - JSM - 6460LV, Massachusetts, USA) sob os aumentos de 100x, 200x e 500x para análise da superfície antes dos ensaios.

Durante os ensaios, uma célula eletroquímica de parede dupla contendo 100 mL da solução de teste foi mantida à temperatura de 37°C através de um banho ultrassônico. A parte ativa da ponta (16 mm) foi imersa na solução de teste e acionada por um ultrassom P5 Newtron (Satelec/Acteon Group, Bordeaux, França), na potência de 9, de acordo com as orientações do fabricante. A ponta foi mantida em vibração sob imersão por 5 minutos. Durante o experimento, a ponta e um eletrodo de referência de Ag/AgCl foram conectados a um potenciostato digital (Metrohm Autolab, Herisau, Switzerland) com o objetivo de verificar a variação de potencial de circuito aberto (OCP) do instrumento. Em seguida, a ponta foi lavada abundantemente com água destilada, seca somente com papel absorvente e guardada em recipiente de plástico. As pontas ultrassônicas foram então observadas por MEV para análise da superfície, sob os mesmos aumentos previamente descritos. Após esta análise, a ponta foi submetida a um novo ensaio de imersão seguindo o

mesmo protocolo, porém com duração de 15 minutos. A ponta foi então novamente observada por MEV para análise da superfície, sob os aumentos descritos previamente.

CURVA REDOX DAS SOLUÇÕES

Curvas redox das soluções NaClO 5,25%, CLX 2% e EDTA 17% foram obtidas à temperatura de 37°C, mantida por um banho ultrassônico. Uma célula eletroquímica de parede dupla contendo 400 mL da solução de teste foi utilizada juntamente com um eletrodo de referência Ag/AgCl, um contra-eletrodo de platina e um eletrodo de trabalho de platina com área de 0,185 cm². Os eletrodos foram imersos na solução e conectados a um potenciostato digital (Metrohm Autolab, Herisau, Switzerland). Curvas anódicas e catódicas foram obtidas pelo software NOVA 1.11 (Metrohm Autolab, Herisau, Switzerland), com uma velocidade de varredura de 0,033 V/s e os limites de potencial de $-2V_{ECS}$ e $+2V_{ECS}$ do potencial redox das soluções. Esses testes foram realizados em triplicada para cada solução de teste. Após a obtenção das curvas, todos os potenciais foram convertidos para valores com referência ao eletrodo de calomelano saturado (ECS) (Bonaccorso *et al.*, 2008).

CURVA DE POLARIZAÇÃO ANÓDICA

Curvas de polarização anódica foram obtidas nas soluções NaClO 5,25%, CLX 2% e EDTA 17% na temperatura de 37°C, mantida por um banho ultrassônico. Uma célula eletroquímica de parede dupla contendo 400 mL da solução de teste foi utilizada juntamente com um eletrodo de referência

Ag/AgCl, um contra-eletrodo de platina e eletrodos de trabalho. Para fabricar os eletrodos de trabalho, análise destas pontas por fluorescência de raio-x foi realizado com o objetivo de descobrir todos os elementos e as respectivas quantidades que a formavam.

Sendo assim, eletrodos planos de aço inoxidável 304L e 316L com áreas de 1,3 cm² e 0,6 cm² respectivamente, foram fabricados. Antes de cada teste a superfície plana do aço inoxidável foi polida com lixas de granulação de 220, 400 e 600. O eletrodo de trabalho foi imerso na solução por 1 hora antes da polarização e em seguida conectado a um potenciostato digital (Metrohm Autolab, Herisau, Switzerland). Então, o eletrodo de trabalho foi submetido à polarização anódica até atingir um potencial de +1,2V_{ECS} em relação ao potencial de corrosão, usando um software NOVA 1.11 (Metrohm Autolab, Herisau, Switzerland), com uma velocidade de varredura de 0,0008 mV/s. Antes e após cada curva de polarização anódica o eletrodo de trabalho foi observado e fotografado por microscopia óptica (Olympus BX60M) com aumentos de 5x, 10x, 20x e 50x para identificação de sinais de corrosão. Esse experimento foi realizado em triplicada em cada solução resultando em 3 curvas de polarização de cada solução. Após a obtenção das curvas, todos os potenciais foram convertidos para valores com referência ao eletrodo de calomelano saturado (ECS) (Bonaccorso *et al.* 2008).

RESULTADOS

As análises das pontas Irrisafe[®] por fluorescência de raio-x mostrou como resultado aproximado os aços inoxidáveis 304L e 316L. A figura 1 mostra

as imagens por MEV das pontas ultrassônicas Irrisafe® antes e após os ensaios de imersão dinâmica. Não houve sinais de corrosão em nenhuma ponta ultrassônica ensaiada, independentemente do tempo de ensaio e da solução de teste utilizada. Durante os ensaios de imersão dinâmica, o potencial permaneceu estável numa faixa de -50 a +150 mV_{ECS} em todas as soluções, a partir dos 50 segundos de ensaio.

Figura 1

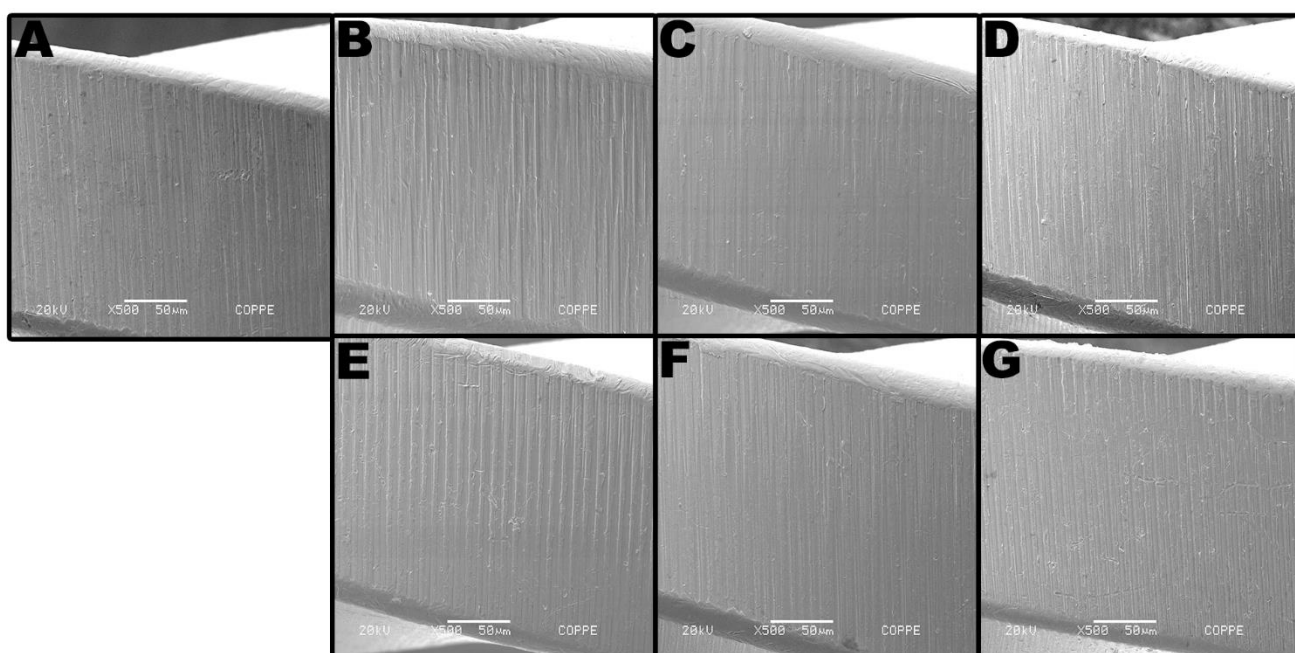


Figura 1 – Imagens representativas da análise por MEV das pontas Irrisafe. (A) Antes dos ensaios; (B-D) Após imersão por 5 minutos; (E-G) Após imersão por 15 minutos; (B,E) NaClO 5,25%; (C,F) EDTA 17%; (D,G) CLX 2%.

A figura 2 mostra as curvas redox das soluções de NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2% e as curvas de polarização anódica dos eletrodos de aço inoxidável 304L e 316L nas mesmas soluções. A reprodutibilidade dos resultados foi observada e os gráficos mostram a curva do primeiro teste realizado em cada condição. A curva redox da solução de NaClO 5,25%

mostrou aumento dos valores de corrente a partir do potencial redox. As curvas de polarização anódica das ligas de aço inoxidável nas soluções de NaClO 5,25% e de EDTA 17% mostraram baixos valores de corrente até o potencial de +500 mV_{ECS}, a partir do qual ocorreu um aumento dos valores de corrente. O mesmo foi observado na curva redox da solução de EDTA 17%. A curva redox da solução de CLX 2% mostrou baixos valores de corrente do potencial redox até +1500 mV_{ECS}. As curvas de polarização anódica das ligas de aço inoxidável na solução de CLX 2% acompanharam a curva redox desta solução, com baixos valores de corrente do potencial de eletrodo até +1000 mV_{ECS}.

Figura 2

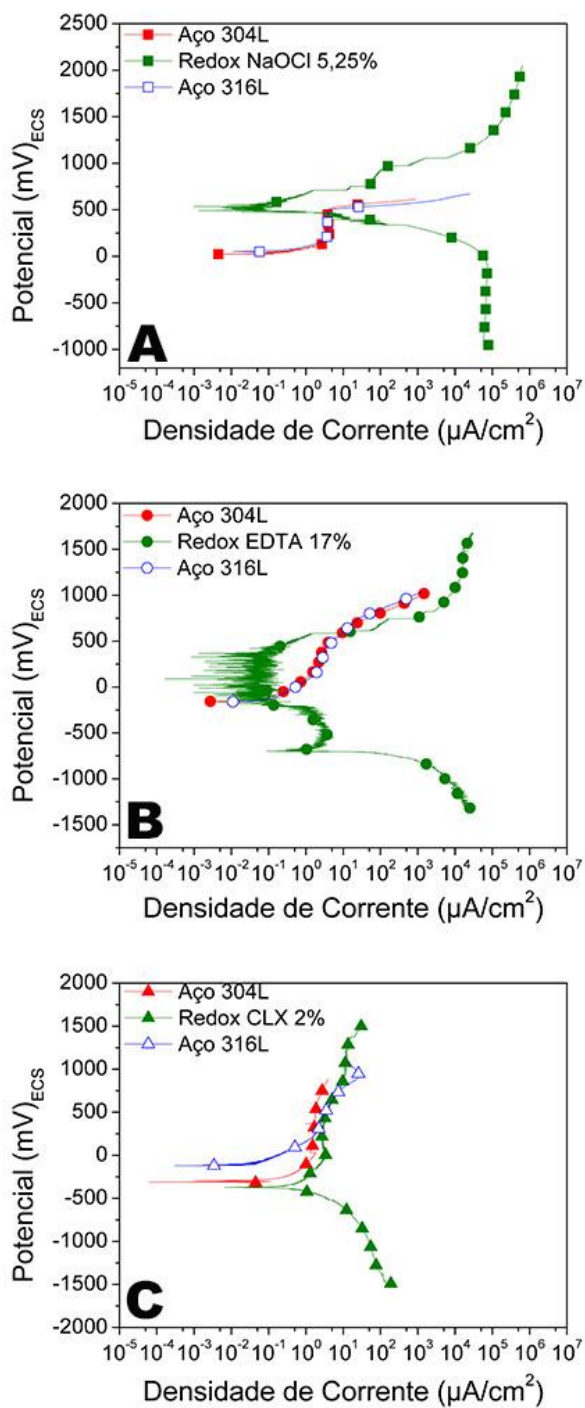


Figura 2 – Curva redox das soluções e curvas de polarização anódica das ligas de aço 304L e 316L. (A) NaClO 5,25%; (B) EDTA 17%; (C) CLX 2%.

A análise por microscopia óptica dos eletrodos planos de aço 304L e 316L antes e após os ensaios de polarização anódica pode ser observada na figura 3. Os eletrodos de ambas as ligas apresentaram sinais de corrosão após os ensaios na solução de NaClO 5,25%, mas não apresentaram sinais de corrosão após os ensaios nas soluções de EDTA 17% e CLX 2%.

Figura 3

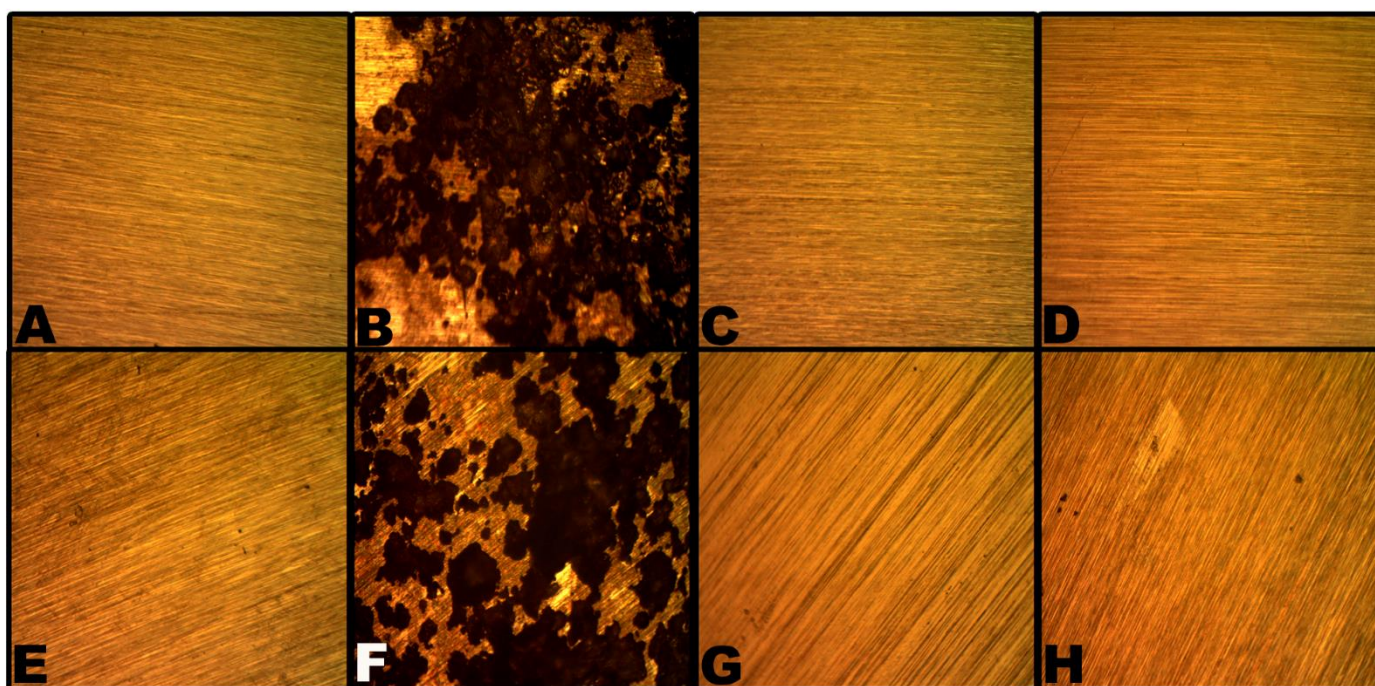


Figura 3 – Análise por microscopia óptica dos eletrodos de aço inoxidável (10x). (A-D) Aço 304L. (E-H); Aço 316L; (A,E) Antes do ensaio; (B,F) NaClO 5,25%; (C,G) EDTA 17%; (D,H) CLX 2%.

DISCUSSÃO

O objetivo deste estudo foi avaliar a resistência à corrosão das pontas ultrassônicas Irrisafe® (Satelec/Acteon Group, Bordeaux, França) ativadas por vibração ultrassônica em imersão nas soluções irrigadoras NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%. O comportamento das ligas metálicas 304L e 316L de aço inoxidável nestas soluções também foi avaliado. Os resultados mostraram instabilidade eletroquímica da solução de NaClO 5,25% e estabilidade das

soluções de EDTA 17% e CLX 2% até os potenciais de +500 mV_{ECS} e +1500 mV_{ECS}, respectivamente. As ligas de aço inoxidável apresentaram sinais de corrosão após os ensaios de polarização anódica na solução de NaClO 5,25% e passivação após os ensaios realizados nas soluções de EDTA 17% e CLX 2%. Entretanto, a análise por MEV não mostrou sinais de corrosão em nenhuma ponta ultrassônica Irrisafe[®] ensaiada em imersão dinâmica, independentemente do tempo de ensaio e da solução de teste utilizada.

A curva redox foi utilizada para analisar o comportamento das soluções dentro de uma faixa de potencial e assim descobrir a faixa de estabilidade das mesmas. Baixos valores de corrente mostram estabilidade da solução, e altos valores de corrente indicam reações de oxidação da solução, o que mostra instabilidade. Os eletrodos planos de aço 304L e 316L foram utilizados no presente estudo com base nas análises das pontas Irrisafe[®] por fluorescência de raio-x que mostrou como resultado aproximado o aço inoxidável 304L e 316L. As curvas de polarização anódica das ligas de aço inoxidável 304L e 316L nas soluções de teste foram obtidas para avaliar o comportamento da liga em cada valor de potencial em cada solução. Neste tipo de teste, baixos valores de corrente indicam passivação da liga, caracterizada pela formação de um filme protetor na superfície da liga. Entretanto, altos valores de corrente podem indicar corrosão do material ou reações de oxidação na solução. Conseqüentemente, a análise combinada dos dois tipos de teste é importante para a correta interpretação dos resultados.

Os ensaios de polarização anódica realizados na solução de NaClO 5,25% mostraram aumento de corrente acima de +500 mV_{ECS}, sendo que este não foi acompanhado pela curva redox desta solução. Estes resultados

sugerem a corrosão das ligas de aço inoxidável, que foi confirmada pela análise por microscopia óptica dos eletrodos submetidos aos ensaios. Os ensaios de polarização anódica realizados na solução de EDTA 17% mostraram baixos valores de corrente até o potencial de +500 mV_{ECS}, a partir do qual ocorreu um aumento significativo dos valores de corrente. Este aumento provavelmente está relacionado a reações de oxidação na solução, já que o mesmo foi observado na curva redox da solução. Isso pode ser confirmado pela ausência de sinais de corrosão na análise por microscopia óptica dos eletrodos submetidos aos ensaios. As curvas de polarização anódica das ligas de aço inoxidável obtidas na solução de CLX 2% mostraram um trajeto semelhante ao da curva redox da solução, sem aumento significativo de corrente, o que sugere ausência de corrosão e mostra estabilidade da solução. A análise por microscopia óptica dos eletrodos submetidos aos ensaios confirmou a ausência de corrosão.

O tempo de imersão utilizado nos ensaios de imersão dinâmica das pontas ultrassônicas Irrisafe® foi determinado de acordo com as orientações do fabricante, simulando uma condição clínica de 5 minutos para um elemento unirradicular com 1 canal e 15 minutos para um multirradicular com 3 canais. O OCP foi medido durante este ensaio com o objetivo de verificar a estabilidade do potencial durante a vibração da ponta ultrassônica. Os resultados mostraram que o potencial permaneceu estável numa faixa de -50 a +150 mV_{ECS} em todas as soluções, sendo que nesta faixa de potencial os valores de corrente foram baixos em todas as curvas de polarização. Esta análise dos resultados é sugestiva de que não houve corrosão das pontas ultrassônicas

durante os ensaios de imersão dinâmica, o que pode ser confirmado pela análise por MEV destas pontas.

Os resultados apresentados aqui estão de acordo com Darabara *et al.*, (2004) que constataram que não houve sinais de corrosão em limas Kerr de aço inoxidável 303 e 304 expostas às soluções de NaClO 5,25% e EDTA 17%. Os resultados também estão parcialmente de acordo com Oztan *et al.*, (2002) que não observaram sinais de corrosão nas limas Kerr ensaiadas em solução de EDTA 17%. Entretanto, aqueles autores observaram corrosão das limas ensaiadas nas soluções de NaClO 5,25% e CLX 0,2%, o que é discrepante em relação aos resultados do presente estudo. Esta discrepância pode estar relacionada à polarização anódica da parte ativa do instrumento realizada por Oztan *et al.*, (2002), que consiste em uma condição experimental mais severa do que a imersão dinâmica em potencial de circuito aberto adotada no presente estudo.

Os resultados apresentados neste estudo também são discrepantes dos apresentados por Barss *et al.*, (1996), Stokes *et al.*, (1999) e Saghiri *et al.*, (2012), que encontraram sinais de corrosão em limas endodônticas de aço inoxidável imersas em NaClO 5,25% por 24 horas, 1 hora e 30 minutos, respectivamente. Estas discrepâncias podem estar relacionadas às diferenças no tempo de imersão entre tais estudos e o presente. Além disso, aqueles autores testaram diferentes tipos de instrumento, cujo tipo de liga e o acabamento de superfície podem diferir daqueles das pontas ultrassônicas Irrisafe®.

A conclusão dos resultados apresentados neste estudo é que as pontas ultrassônicas Irrisafe® não sofrem corrosão quando ativadas por vibração ultrassônica em imersão nas soluções irrigadoras NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%. As ligas metálicas de aço inoxidável 304L e 316L sofrem corrosão em solução de NaClO 5,25%. Estas ligas não sofrem corrosão em soluções de EDTA 17% e CLX 2%.

REFERÊNCIAS

1. Iriboz E, Bayraktar K, Turkeydin D, Tarçin B. Comparison of apical extrusion of sodium hypochlorite using 4 different root canal irrigation techniques. J Endod 2015;41:380-4.
2. Almeida AP, Souza MA, Miyagaki DC, Bello YD, Cecchin D, Farina AP. Comparative evaluation of calcium hypochlorite and sodium hypochlorite associated with passive ultrasonic irrigation on antimicrobial activity of a root canal system infected with *Enterococcus faecalis*: an in vitro study. J Endod 2014;40:1953-7.
3. Enalghy AM, Mandorah A, Elsaka SE. Effectiveness of XP Endo Finisher, EndoActivator and File agitation on debris and smear layer removal in curved root canals: a comparative study. Odontology 2016; Maio 20
4. Gomes BPFA, Vianna ME, Zaia AA, Almeida JFA, Souza-Filho FJ, Ferraz CCR. Chlorhexidine in endodontics. Braz Dent J 2013;24(2):89-102.
5. Zehnder M. Root canal irrigants. J Endod 2006;32(5):389-98.
6. van der Sluis LWM, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. Int Endod J 2007;40:415-26.
1. Wigler R, Dvir R, Weisman A, Matalon S, Kfir A. Efficacy of XP-endo finisher files in the removal of calcium hydroxide paste from artificial

- standardized grooves in the apical third of oval root canals. *Int Endod J* 2016; doi: 10.1111/iej.12668.
2. Llana C, Forner L, Cambralla R, Lozano A. Effect of three different irrigation solutions applied by passive ultrasonic irrigation. *Restor Dent Endod* 2015;40:143-8.
 3. Mozo S, Llana C, Chieffi N, Forner L, Ferrari M. Effectiveness of passive ultrasonic irrigation in improving elimination of smear layer and opening dentinal tubules. *J Clin Exp Dent* 2014;6:e47-52.
 4. Barss JT, Miller DA, Howard JR, Gilbert JL, Lautenschlager EP. The evaluation of corrosion in stainless steel files [Abstract]. *Northwest Dent Res* 1996;7:27-31.
 5. Stokes OW, Fiore PM, Barss JT, Koerber A, Gilbert JL, Lautenschlager EP. Corrosion in stainless-steel and nickel-titanium files. *J Endod* 1999;25:17-20.
 6. Oztan MD, Akman AA, Zaimoglu L, Bilgiç S. Corrosion rates of stainless-steel files in different irrigating solutions. *Int Endod J* 2002;35:655-9.
 7. Darabara M, Bourithis L, Zinelis S, Papadimitriou GD. Susceptibility to localized corrosion of stainless steel and NiTi endodontic instruments in irrigating solutions. *Int Endod J* 2004;37:705-10.
 8. Praisarnti C, Chang JWW, Cheung GSP. Electropolishing enhances the resistance of nickel-titanium rotary files to corrosion-fatigue failure in hypochlorite. *J Endod* 2010;36:1354-7.
 9. Saghiri MA, García-Godoy F, Lotfi M, Mehrvazfar P, Aminsobhani M, Rezaie S, Asgar K. The effect of some fluids on surface oxidation and amount of released iron of stainless steel endodontic files. *Scanning* 2012;34:309-15.
 10. Pedullà E, Franciosi G, Ounsi HF, Tricarico M, Rapisarda E, Grandini S. Cyclic fatigue resistance of nickel-titanium instruments after immersion in irrigant solutions with or without surfactants. *J Endod* 2014;40:1245-9.
 11. Bonaccorso A, Tripi TR, Rondelli G, Condorelli GG, Cantatore G, Schafer E. Pitting corrosion resistance of nickel-titanium rotary instruments with different surface treatments in seventeen percent ethylenediaminetetraacetic acid and sodium chloride solutions. *J Endod* 2008;34:208-211.

3.2 ARTIGO 2

INFLUENCIA DAS SOLUÇÕES DE HIPOCLORITO DE SÓDIO, EDTA E CLOREXIDINA NOS INSTRUMENTOS ENDODÔNTICOS XP ENDO® DE NiTi

Natália Felizardo de Oliveira, DDS, MSc Student^a

José Antônio da Cunha Ponciano Gomes, MSc, DSc^b

Fabiola Ormiga Barbosa Soares, DDS, MSc, PhD^a

Patricia A Risso, DDS, MSc, PhD^a

^a Departamento de Clínica Odontológica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rua Prof. Rodolpho Paulo Rocco 325 / 2º andar, Ilha da Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ - Cep: 21.941-913, Brazil

^b Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro - Centro de Tecnologia - Bloco F, sala F-214 Ilha do Fundão Caixa Postal 68505, Rio de Janeiro, RJ - Cep: 21941-972, Brazil.

Autor de correspondência: Patrícia de Andrade Risso. Rua Prof Rodolpho Paulo Rocco 325 / 2º andar, Cidade Universitária – Rio de Janeiro - Brazil – CEP: 21.941-913 (Phone: +552139382032, Email: patriciarisso@ufrj.br)

Resumo

Introdução: O objetivo deste estudo foi avaliar a resistência à corrosão dos instrumentos endodônticos XP Endo[®], nas soluções irrigadoras hipoclorito de sódio (NaClO) 5,25%, EDTA 17% e clorexidina 2%. O comportamento da liga metálica de NiTi nestas soluções também foi avaliado. **Metodologia:** Trinta novos instrumentos XP Endo[®] foram submetidos a ensaios de imersão dinâmica nas soluções irrigadoras NaClO 5,25%, CLX 2% e EDTA 17%. Cada instrumento foi submetido a dois ensaios na mesma solução com durações de 5 e 15 minutos. Antes e após cada ensaio, os instrumentos foram observados por microscopia eletrônica de varredura (MEV) para análise da superfície. Curvas redox das soluções de NaClO 5,25%, CLX 2% e EDTA 17% e curvas de polarização anódica da liga de NiTi nestas soluções foram obtidas. **Resultados:** Não houve sinais de corrosão em nenhum instrumento ensaiado, independentemente do tempo de ensaio e da solução de teste utilizada. Os ensaios de polarização anódica na solução de NaClO 5,25% mostraram baixos valores de corrente até o potencial de +500 mV_{ECS}. As curvas de polarização anódica nas soluções de EDTA 17% e CLX 2% mostraram um trajeto semelhante ao da curva redox da solução. **Conclusão:** Concluiu-se que os instrumentos endodônticos XP Endo[®] não sofrem corrosão quando ativados nas soluções de NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%. A liga metálica de NiTi não sofre corrosão nas soluções NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%.

Palavras-chave: Corrosão, endodontia, hipoclorito de sódio.

INTRODUÇÃO

A complexidade anatômica e a presença do biofilme bacteriano nas infecções endodônticas tornam a desinfecção do sistema de canais radiculares (SCR) um desafio (Barbosa *et al.*, 2009, Tawakoli *et al.*, 2017), pois durante o preparo mecânico áreas do SCR permanecem intocáveis (Peters *et al.*, 2003). As principais soluções irrigadoras utilizadas são: o hipoclorito de sódio (NaClO), solvente de matéria orgânica (Almeida *et al.*, 2014), a clorexidina (CLX) por sua substantividade (Gomes *et al.*, 2013) e o ácido etilenodiamino tetracético (EDTA), fundamental para remoção de smear-layer (Zehnder 2006).

Assim, diferentes irrigantes e mecanismos de irrigação tem sido propostos. Técnicas que propõem a agitação das soluções irrigadoras, como as ultrassônicas passivas, facilitaram a penetração da solução irrigadora, a dissolução de tecidos orgânicos e a remoção do smear-layer (Azim *et al.*, 2016, Leoni *et al.*, 2016).

Um novo instrumento de NiTi, o XP Endo® (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Switzerland) foi proposto para agitar e melhorar a eficácia das soluções irrigadoras. Este instrumento possui alta flexibilidade e formato de colher na temperatura corpórea, visando a limpeza de áreas complexas do canal sem cortar dentina (Leoni *et al.*, 2016). De acordo com Azim *et al.*, (2016) e Enalghy *et al.*, (2016), a XP Endo® melhorou a remoção de smear-layer dos túbulos dentinários em relação à irrigação convencional. Entretanto, Leoni *et al.*, (2016) e Wigler *et al.*, (2016) não demonstraram diferença entre XP Endo® e irrigação ultrassônica passiva na habilidade de limpar os canais radiculares.

O contato das soluções irrigadoras com os instrumentos endodônticos pode promover a corrosão dos mesmos, embora não haja um consenso na literatura em relação a esta questão (Haikel *et al.*, 1998, Darabara *et al.*, 2004, Berutti *et al.*, 2006, Martins *et al.*, 2006, Barbosa *et al.*, 2007, Peters *et al.*, 2007, Bonaccorso *et al.*, 2008, Pedullà *et al.*, 2011). Haikel *et al.*, (1998) e Darabara *et al.*, (2004) concluíram que limas de NiTi não sofrem corrosão em NaClO 5,25%, após imersão por 12 e 48 horas e 1 hora, respectivamente. Ao realizar imersão dinâmica de limas de NiTi por 1 ou 5 minutos em NaClO 5%, Pedullà *et al.*, (2011) não observaram sinais de corrosão em limas Twisted File®, Mtwo® e Revo S SU®. Na análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV), Martins *et al.*, (2006), e Barbosa *et al.*, (2007) não observaram sinais de corrosão em limas rotatórias de NiTi imersas em NaClO 5,25% por 24 horas e 8 horas, respectivamente. Entretanto, Peters *et al.*, (2007) e Berutti *et al.*, (2006), pela mesma análise observaram corrosão em limas de NiTi imersas em NaClO 5,25% por 1 e 2 horas e em NaClO 5% por 5 minutos, respectivamente. Ao estudar a ação do EDTA 17%, Bonaccorso *et al.*, (2008) não observaram corrosão em limas RaCe® imersas em nesta solução por 1 hora.

Neste contexto, as diferentes soluções irrigadoras utilizadas durante a limpeza final dos canais radiculares podem provocar corrosão dos instrumentos utilizados para a sua agitação, principalmente por permanecem em contato com estes por mais tempo em relação aos instrumentos de formatação. Desta forma, este estudo tem como objetivo avaliar a resistência à corrosão dos instrumentos XP Endo® (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Switzerland) acionados em rotação contínua em imersão nas soluções irrigadoras NaClO

5,25%, EDTA 17% e CLX 2%. O comportamento da liga metálica de NiTi nestas soluções também foi avaliado.

MATERIAIS E MÉTODOS

ENSAIO DE IMERSÃO DINÂMICA

Trinta instrumentos XP Endo[®] de 25 mm (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Switzerland) foram submetidos a ensaios de imersão dinâmica. Os instrumentos foram distribuídos aleatoriamente em 3 grupos (n=10) de acordo com a solução irrigadora de teste: NaClO 5,25%, CLX 2% e EDTA 17%. Todos os instrumentos foram observados por microscopia eletrônica de varredura (MEV) (JEOL - JSM - 6460LV, Massachusetts, USA) sob os aumentos de 100x, 200x e 500x para análise da superfície antes dos ensaios.

Durante os ensaios, uma célula eletroquímica de parede dupla contendo 100 mL da solução de teste foi mantida à temperatura de 37°C através de um banho ultrassônico. A parte ativa do instrumento (16 mm) foi imersa na solução de teste e o instrumento foi acionado por um aparelho X-Smart Plus (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Suíça) no modo de rotação contínua, com velocidade de rotação de 800 rpm, de acordo com as orientações do fabricante. O instrumento foi mantido em rotação sob imersão por 5 minutos. Durante o experimento, o instrumento e um eletrodo de referência de Ag/AgCl foram conectados a um potenciostato digital (Metrohm Autolab, Herisau, Switzerland) com o objetivo de verificar a variação de potencial do instrumento. Em seguida o instrumento foi lavado abundantemente com água destilada, seco com papel

absorvente e guardado em recipiente de plástico. O instrumento foi então observado por MEV sob os mesmos aumentos previamente descritos para identificação de sinais de corrosão. Após esta análise, o instrumento foi submetido a um novo ensaio de imersão seguindo o mesmo protocolo, porém com duração de 15 minutos. O instrumento foi então novamente observado por MEV sob os mesmos aumentos previamente descritos para identificação de sinais de corrosão.

CURVA REDOX DAS SOLUÇÕES

Curvas redox das soluções NaClO 5,25%, CLX 2% e EDTA 17% foram obtidas à temperatura de 37°C, mantida por um banho ultrassônico. Uma célula eletroquímica de parede dupla contendo 400 mL da solução de teste foi utilizada juntamente com um eletrodo de referência Ag/AgCl, um contra-eletrodo de platina e um eletrodo de trabalho de platina com área de 0,185 cm². Os eletrodos foram imersos na solução e conectados a um potenciostato digital (Metrohm Autolab, Herisau, Switzerland). Curvas anódicas e catódicas foram obtidas pelo software NOVA 1.11 (Metrohm Autolab, Herisau, Switzerland), com uma velocidade de varredura de 0,033 V/s e os limites de potencial de $-2V_{ECS}$ e $+2V_{ECS}$ a partir do potencial redox das soluções. Esses testes foram realizados em triplicada para cada solução de teste. Após a obtenção das curvas, todos os potenciais foram convertidos para valores com referência ao eletrodo de calomelano saturado (ECS) (Bonaccorso *et al.* 2008).

CURVA DE POLARIZAÇÃO ANÓDICA

Curvas de polarização anódica do NiTi foram obtidas nas soluções NaClO 5,25%, CLX 2% e EDTA 17% na temperatura de 37°C, mantida por um banho ultrassônico. Uma célula eletroquímica de parede dupla contendo 400 mL da solução de teste foi utilizada juntamente com um eletrodo de referência Ag/AgCl, um contra-eletrodo de platina e um eletrodo de trabalho de NiTi com área de 1 cm². Antes de cada teste a superfície plana do NiTi foi polida com lixas de granulação de 220, 400 e 600. O eletrodo de trabalho foi imerso na solução por 1 hora antes da polarização e em seguida conectado a um potenciostato digital (Metrohm Autolab, Herisau, Switzerland). Então, o eletrodo de trabalho foi submetido à polarização anódica até atingir um potencial de +1,2V_{ECS} em relação ao potencial de corrosão, usando um software NOVA 1.11 (Metrohm Autolab, Herisau, Switzerland), com uma velocidade de varredura de 0,0008 mV/s. Antes e após cada curva de polarização anódica o eletrodo de trabalho de NiTi foi observado e fotografado no microscópio óptico (Olympus BX60M) com aumentos de 5x, 10x, 20x e 50x para análise da superfície. Esse experimento foi realizado em triplicada em cada solução resultando em 3 curvas de polarização para cada solução. Após a obtenção das curvas, todos os potenciais foram convertidos para valores com referência ao eletrodo de calomelano saturado (ECS) (Bonaccorso *et al.* 2008).

RESULTADOS

A figura 1 mostra as imagens por MEV dos instrumentos XP Endo[®] antes e após os ensaios de imersão dinâmica. Não houve sinais de corrosão em nenhum instrumento ensaiado, independentemente do tempo de ensaio e da solução de teste utilizada. Durante os ensaios de imersão dinâmica na

solução de NaClO 5,25%, o potencial permaneceu estável em valores que variaram entre as amostras de +200 mV_{ECS} a +310 mV_{ECS}. Ao longo dos ensaios realizados nas soluções de EDTA 17% e CLX 2%, o potencial oscilou numa faixa de -25 mV_{ECS} a +100 mV_{ECS} e -85 mV_{ECS} a +50 mV_{ECS}, respectivamente.

Figura 1

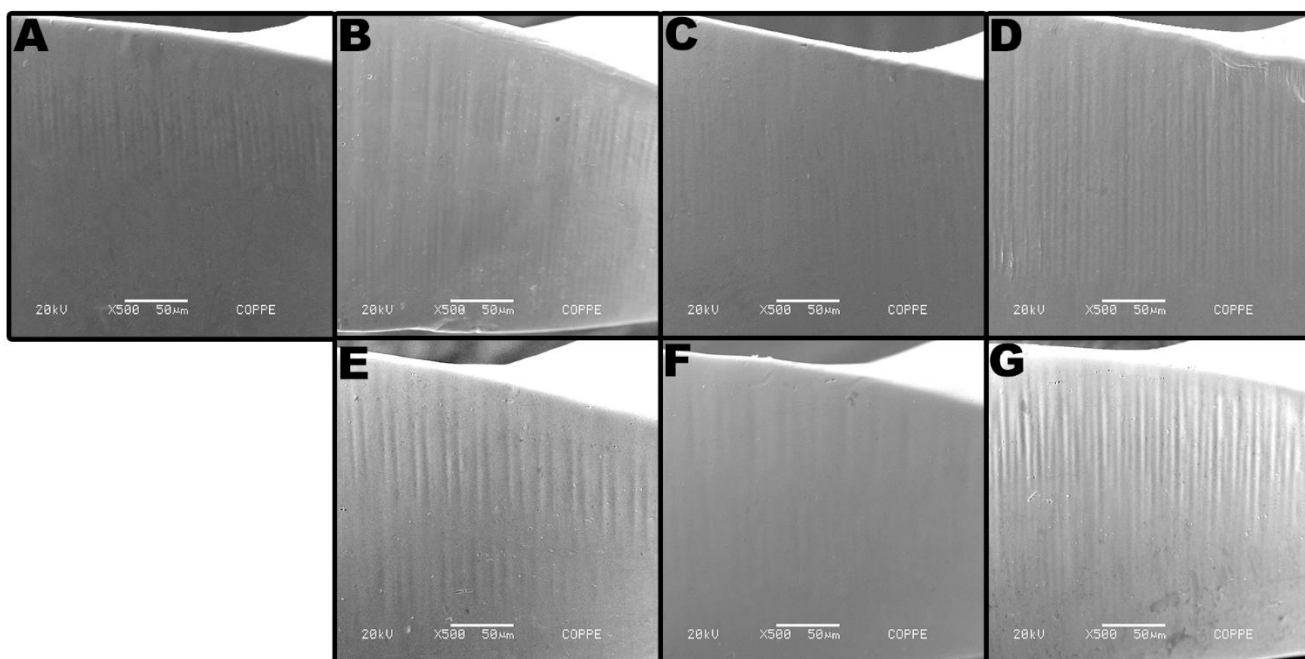


Figura 1 – Imagens representativas da análise por MEV dos instrumentos XP Endo. (A) Antes dos ensaios; (B-D) Após imersão por 5 minutos; (E-G) Após imersão por 15 minutos; (B,E) NaClO 5,25%; (C,F) EDTA 17%; (D,G) CLX 2%.

A figura 2 mostra as curvas redox das soluções de NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2% e as curvas de polarização anódica dos eletrodos de NiTi nas mesmas soluções. A reprodutibilidade dos resultados foi observada e os gráficos mostram a curva do primeiro teste realizado em cada condição. A curva redox da solução de NaClO 5,25% mostrou aumento dos valores de corrente a partir do potencial redox. A curva de polarização anódica da liga de

NiTi na solução de NaClO 5,25% mostrou baixos valores de corrente até o potencial de +500 mV_{ECS}, a partir do qual ocorreu um aumento dos valores de corrente. O mesmo foi observado na curva redox da solução de EDTA. A curva de polarização anódica da liga de NiTi na solução de EDTA 17% mostrou valores estáveis de corrente até o potencial de +750 mV_{ECS}, a partir do qual ocorreu um aumento dos valores de corrente. A curva redox da solução de CLX 2% mostrou baixos valores de corrente do potencial redox até +1500 mV_{ECS}. A curva de polarização anódica da liga de NiTi na solução de CLX 2% acompanhou a curva redox desta solução, com baixos valores de corrente do potencial de eletrodo até +1000 mV_{ECS}.

Figura 2

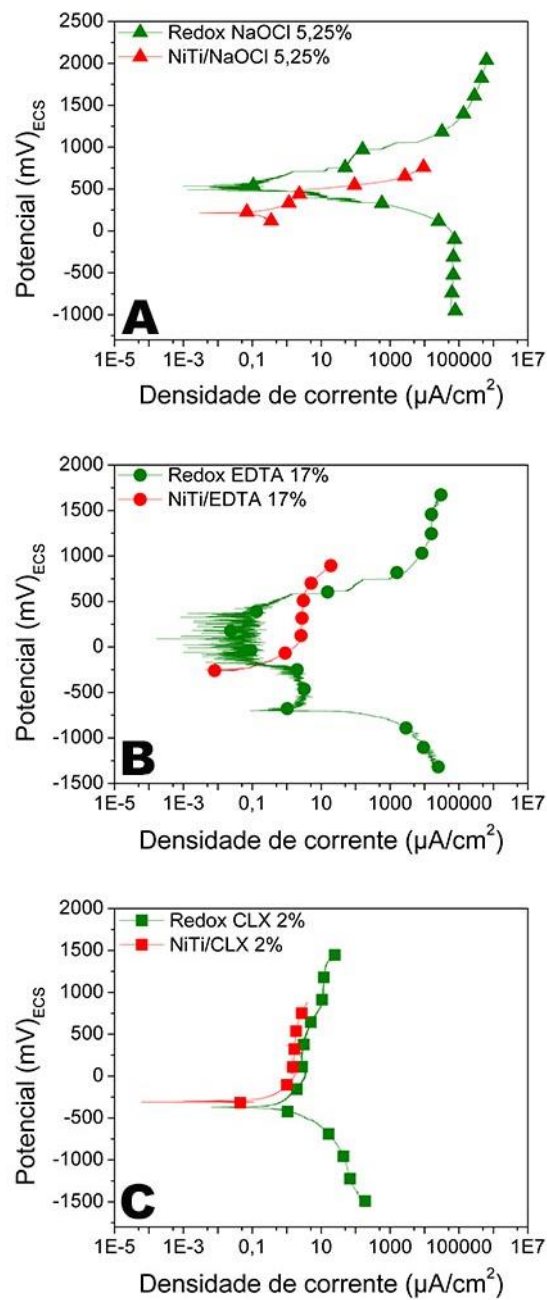


Figura 2 – Curvas redox das soluções e curvas de polarização anódica da liga de NiTi.

(A) NaClO 5,25%; (B) EDTA 17%; (C) CLX 2%.

A análise por microscopia óptica dos eletrodos planos de NiTi antes e após os ensaios de polarização anódica pode ser observada na figura 3. Não foram observados sinais de corrosão nos eletrodos após os ensaios nas soluções de NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%.

Figura 3

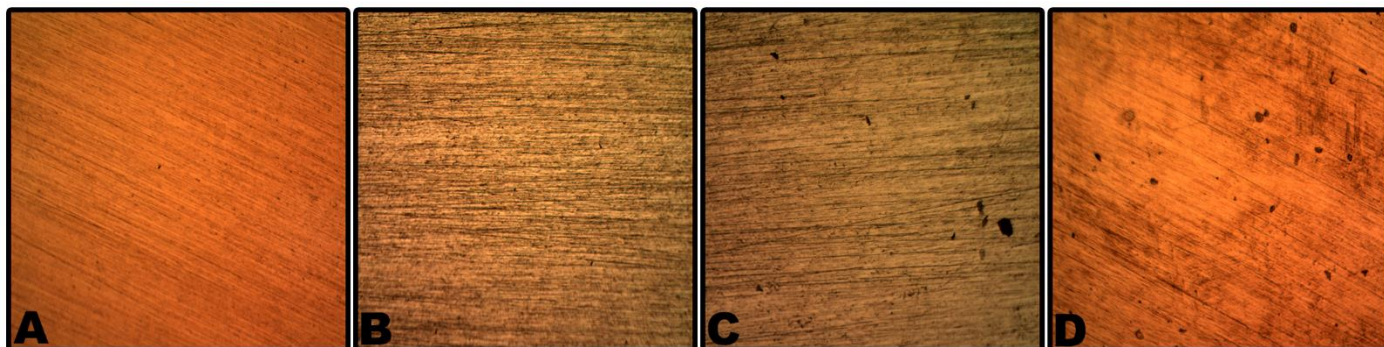


Figura 3 – Análise por microscopia óptica dos eletrodos de NiTi (10x). (A) Antes do ensaio; (B-D) Depois do ensaio; (B) NaClO 5,25%; (C) EDTA 17%; (D) CLX 2%.

DISCUSSÃO

O objetivo deste estudo foi avaliar a resistência à corrosão dos instrumentos endodônticos XP Endo[®] (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Switzerland) acionados em rotação contínua em imersão nas soluções irrigadoras NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%. O comportamento da liga metálica de NiTi nestas soluções também foi avaliada. Os resultados mostraram instabilidade eletroquímica da solução de NaClO 5,25% e estabilidade das soluções de EDTA 17% e CLX 2% até os potenciais de +500 mV_{ECS} e +1500 mV_{ECS}, respectivamente. As ligas de NiTi sofreram passivação em todas as soluções testadas. A análise por MEV não mostrou sinais de corrosão em nenhum instrumento XP Endo[®] ensaiado em imersão

dinâmica, independentemente do tempo de ensaio e da solução de teste utilizada.

As curvas de polarização anódica obtidas nas soluções de NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2% foram semelhantes aos das curvas redox das soluções, o que sugere ausência de corrosão. A curva redox foi utilizada para analisar o comportamento das soluções e descobrir a faixa de estabilidade das mesmas. Baixos valores de corrente mostram estabilidade da solução, e altos valores de corrente indicam reações de oxidação da solução, o que mostra instabilidade. As curvas de polarização anódica da liga NiTi nas soluções de teste foram obtidas para avaliar o comportamento da liga em cada valor de potencial em cada solução. Na interpretação dessas curvas, baixos valores de corrente indicam passivação da liga, formando um filme protetor na superfície da mesma. Entretanto, altos valores de corrente podem indicar corrosão do material. A análise combinada desses dois testes é importante para a correta interpretação dos resultados. A análise por microscopia óptica dos eletrodos submetidos aos ensaios confirmou a ausência de corrosão.

O ensaio de imersão dinâmica dos instrumentos endodônticos XP Endo® teve o tempo de imersão determinado de acordo com as orientações do fabricante. O tempo de 5 minutos foi simulando uma condição clínica para um elemento unirradicular e 15 minutos para um multirradicular com 3 canais. Durante este ensaio o OCP foi medido para verificar a estabilidade do potencial durante o acionamento em rotação contínua dos instrumentos. Os resultados mostraram que mesmo nos casos de oscilação do potencial, os valores registrados correspondem a potenciais nos quais observaram-se baixos valores de corrente nas curvas de polarização anódica da liga. Esta análise é sugestiva

de que não houve corrosão dos instrumentos XP Endo® durante os ensaios de imersão dinâmica, o que pode ser confirmado pela análise por MEV dos mesmos.

Nossos resultados estão de acordo com Haikel *et al.*, (1998), Darabara *et al.*, (2004), Barbosa *et al.*, (2007) e Martins *et al.*, (2006) que concluíram que limas de NiTi não sofrem corrosão em imersão na solução de NaClO 5,25% por períodos de tempo que variaram de 1 a 48 horas. Pedullà *et al.*, (2011) também não encontraram sinais de corrosão em limas de NiTi submetidas a ensaios de imersão dinâmica por 1 e 5 minutos em NaClO 5%. Os resultados apresentados neste estudo também estão de acordo com Bonaccorso *et al.*, (2008) que não observaram corrosão em limas RaCe® de NiTi imersas em EDTA 17% por 1 hora.

Entretanto, os resultados apresentados neste estudo são discrepantes daqueles apresentados por Peters *et al.*, (2007) e Berutti *et al.*, (2006), que encontraram corrosão em limas de NiTi imersas em NaClO 5,25% por 1 e 2 horas e em NaClO 5% por 5 minutos, respectivamente. Estas discrepâncias podem estar relacionadas ao aquecimento da solução realizada por esses autores e a imersão da parte ativa e do cabo da lima na solução. A imersão total da lima pode gerar uma situação de corrosão galvânica.

A conclusão dos resultados apresentados neste estudo é que os instrumentos endodônticos XP Endo® não sofrem corrosão quando acionados em rotação contínua em imersão nas soluções irrigadoras NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%. A liga de NiTi também não sofre corrosão nestas soluções.

REFERENCIAS

1. Barbosa FO, Gusman H, Pimenta de Araújo MC. A comparative study on the frequency, location, and direction of accessory canals filled with the hydraulic vertical condensation and continuous wave of condensation techniques. *J Endod* 2009;35:397-400.
2. Tawakoli PN, Ragnarsson KT, Rechenberg DK, Mohn D, Zehnder M. Effect of endodontic irrigants on biofilm matrix polysaccharides. *Int Endod J* 2017;50:153-160.
3. Peters OA, Roehlike JO, Baumann MA. Effect of immersion in sodium hypochlorite on torque and fatigue resistance of nickel-titanium instruments. *J Endod* 2007;33:589-93.
4. Almeida AP, Souza MA, Miyagaki DC, Bello YD, Cecchin D, Farina AP. Comparative evaluation of calcium hypochlorite and sodium hypochlorite associated with passive ultrasonic irrigation on antimicrobial activity of a root canal system infected with *Enterococcus faecalis*: an in vitro study. *J Endod* 2014;40:1953-7.
5. Gomes BPF, Vianna ME, Zaia AA, Almeida JFA, Souza-Filho FJ, Ferraz CCR. Chlorhexidine in endodontics. *Braz Dent J* 2013;24(2):89-102.
6. Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod* 2006;32(5):389-98.
7. Azim AA, Aksel H, Zhuang T, Mashtare T, Babu JP, Huang GTJ. Efficacy of 4 irrigation protocols in killing bacteria colonized in dentinal tubules examined by a novel confocal laser scanning microscope analysis. *J Endod* 2016;42:928-34.
8. Leoni GB, Versiani MA, Silva-Sousa YT, Bruniera JFB, Pécora JD, Sousa-Neto MD. Ex vivo evaluation of four final irrigation protocols on the removal of hard-tissue debris from the mesial root canal system of mandibular first molars. *Int Endod J* 2016; Mar 18.
9. Enalghy AM, Mandorah A, Elsaka SE. Effectiveness of XP Endo Finisher, EndoActivator and File agitation on debris and smear layer removal in curved root canals: a comparative study. *Odontology* 2016; Maio 20.

10. Wigler R, Dvir R, Weisman A, Matalon S, Kfir A. Efficacy of XP-endo finisher files in the removal of calcium hydroxide paste from artificial standardized grooves in the apical third of oval root canals. *Int Endod J* 2016;Jun 8.
11. Haikel Y, Serfaty R, Wilson P, Speisser JM, Alleman C. Mechanical properties of nickel-titanium endodontic instruments and the effect of sodium hypochlorite treatment. *J Endod* 1998;24:731-5.
12. Darabara M, Bourithis L, Zinelis S, Papadimitriou GD. Susceptibility to localized corrosion of stainless steel and NiTi endodontic instruments in irrigating solutions. *Int Endod J* 2004;37:705-10.
13. Berutti E, Angelini E, Rigolone M, Migliaretti G, Pasqualini D. Influence of sodium hypochlorite on fracture properties and corrosion of ProTaper rotary instruments. *Int Endod J* 2006;39:693-9.
14. Martins RC, Bahia MGA, Buono VTL. The effect of sodium hypochlorite on the surface characteristics and fatigue resistance of ProFile nickel-titanium instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006;102:e99-105.
15. Barbosa FOG, Gomes JACP, Araújo MCP. Influence of sodium hypochlorite on mechanical properties of K3 nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2007;33:982-5.
16. Bonaccorso A, Tripi TR, Rondelli G, Condorelli GG, Cantatore G, Schafer E. Pitting corrosion resistance of nickel-titanium rotary instruments with different surface treatments in seventeen percent ethylenediaminetetraacetic acid and sodium chloride solutions. *J Endod* 2008;34:208-211.
17. Pedullà E, Grande NM, Plotino G, Pappalardo A, Rapisarda E. Cyclic fatigue resistance of three different nickel-titanium instruments after immersion in sodium hypochlorite. *J Endod* 2011;37:1139-42.
18. Bonaccorso A, Tripi TR, Rondelli G, Condorelli GG, Cantatore G, Schafer E. Pitting corrosion resistance of nickel-titanium rotary instruments with different surface treatments in seventeen percent ethylenediaminetetraacetic acid and sodium chloride solutions. *J Endod* 2008;34:208-211.

4. CONCLUSÃO

A conclusão dos resultados apresentados neste estudo são:

1. As pontas ultrassônicas Irrisafe® e os instrumentos endodônticos XP Endo® não sofrem corrosão nas soluções irrigadoras NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%.
2. As ligas metálicas de aço inoxidável 304L e 316L sofrem corrosão em solução de NaClO 5,25% em potenciais acima de +500 mV_{ECS} porém não sofrem corrosão em soluções de EDTA 17% e CLX 2%.
3. A liga metálica de NiTi não sofre corrosão em soluções de NaClO 5,25%, EDTA 17% e CLX 2%.

5. REFERENCIAS

1. ALTURAKI, S. et al. Efficacy of 3 different irrigation systems on removal of calcium hydroxide from the root canal: a scanning electron microscopic study. **J. Endod.**, v. 41, no. 1, p. 97-101, jan. 2015.
2. KARATAS, E. et al. Comparison of the effect of nonactivated self-adjusting file system, Vibringe, EndoVac, ultrasonic and needle irrigation on apical extrusion of debris. **Int. Endod. J.**, v. 48, no. 4, p.317-22, abril 2015.
3. VAN DER SLUIS, LWM. et al. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. **Int. Endod. J.**, v. 40, no. 6, p. 415-26, junho 2007.
4. ALVES, FRF. et al. Removal of root canal filings in curved canals using either reciprocating single- or rotary multi-instrument systems and a supplementary step with the XP Endo Finisher. **J. Endod.**, v.42, no. 7, p. 1114-19, julho 2016.
5. LEONI, GB. et al. Ex vivo evaluation of four final irrigation protocols on the removal of hard-tissue debris from the mesial root canal system of mandibular first molars. **Int. Endod. J.**, v. 18 março 2016.
6. ALMEIDA, AP. et al. Comparative evaluation of calcium hypochlorite and sodium hypochlorite associated with passive ultrasonic irrigation on antimicrobial activity of a root canal system infected with *Enterococcus faecalis*: an in vitro study. **J. Endod.**, v. 40, no. 12, p. 1953-57, dez 2014.
7. VALERA, MC. et al. In vitro antimicrobial activity of auxiliary chemical substances and natural extracts on *Candida albicans* and *Enterococcus faecalis* in root canals. **J. Appl. Oral. Sci.**, v. 21, no. 2, p. 118-23, março-abril 2013.
8. SOUZA, M. et al. Evaluation of chlorhexidine substantivity on human dentin: a chemical analysis. **J. Endod.**, v. 38, no. 9, p. 1249-52, set 2012.
9. LLENA, C. et al. Effect of three different irrigation solutions applied by passive ultrasonic irrigation. **Restor. Dent. Endod.**, v. 40, no. 2, p. 143-8, maio 2015.

10. IRIBOZ, E. et al. Comparison of apical extrusion of sodium hypochlorite using 4 different root canal irrigation techniques. **J. Endod.**, v. 41, no. 3, p. 380-4, março 2015.
11. TANOMARU-FILHO, M. et al. Cleaning of Root Canal System by Different Irrigation Methods. **J. Contemp. Dent. Pract.**, v. 16, no. 11, p. 859-63, nov 2015.
12. AYRANCI, LB. et al. Effectiveness of Laser-Assisted irrigation and passive ultrasonic irrigation techniques on smear layer removal in middle and apical thirds. **Scanning**. doi: 10.1002/sca.21247, março-abril 2015.
13. STOKES, OW. et al. Corrosion in stainless-steel and nickel-titanium files. **J. Endod.**, v. 25, no. 1, p. 17-20, jan 1999.
14. SARKAR, NK. et al. The chloride corrosion behavior of four orthodontic wires. **J. Oral. Rehabil.**, v. 10, no. 2, p.121-8, março 1983.
15. SAGHIRI, MA. et al. The effect of some fluids on surface oxidation and amount of released iron of stainless steel endodontic files. **Scanning**. v. 34, no. 5, p. 309-15, set-out 2012.
16. TOPUZ, O. et al. Structural effects of sodium hypochlorite solution on RaCe rotary nickel-titanium instruments: an atomic force microscopy study. **Oral. Surg. Oral. Med. Oral. Pathol. Oral. Radiol. Endod.**, v. 105, no. 5, p. 661-5, maio 2008;
17. PETERS, OA; ROEHLIKE, JO; BAUMANN, MA. Effect of immersion in sodium hypochlorite on torque and fatigue resistance of nickel-titanium instruments. **J. Endod.**, v. 33, no. 5, p. 589-93, maio 2007.
18. BARBOSA, FOG; GOMES, JACP; ARAÚJO, MCP. Influence of sodium hypochlorite on mechanical properties of K3 nickel-titanium rotary instruments. **J. Endod.**, v. 33, no. 8, p. 982-5, ago 2007.
19. MARTINS, RC; BAHIA, MGA; BUONO, VTL. The effect of sodium hypochlorite on the surface characteristics and fatigue resistance of ProFile nickel-titanium instruments. **Oral. Surg. Oral. Med. Oral. Pathol. Oral. Radiol. Endod.**, v. 102, no. 4, p. 99-105, out 2006.

20. BUSSLINGER, A; SENER, B; BARBAKOW, F. Effects of sodium hypochlorite on nickel-titanium Lightspeed instruments. **Int. Endod. J.**, v. 31, no. 4, p. 290-4, julho 1998.
21. PEDULLÀ, E. et al. Cyclic fatigue resistance of nickel-titanium instruments after immersion in irrigant solutions with or without surfactants. **J. Endod.**, v. 40, no. 8, p. 1245-49, ago 2014.
22. PEDULLÀ, E. et al. Cyclic fatigue resistance of three different nickel-titanium instruments after immersion in sodium hypochlorite. **J. Endod.**, v. 37, no. 8, p. 1139-42, ago 2011.