

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE ODONTOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

**REABSORÇÕES RADICULARES INTERNAS SIMULADAS:  
DESENVOLVIMENTO DE NOVA METODOLOGIA COM  
DESMINERALIZAÇÃO ÁCIDA E ANÁLISE VOLUMÉTRICA COM  
DIFERENTES PROTOCOLOS DE AQUISIÇÃO TOMOGRÁFICA**

PRISCILA FERNANDA DA SILVEIRA

PORTO ALEGRE

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE ODONTOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

**REABSORÇÕES RADICULARES INTERNAS SIMULADAS:  
DESENVOLVIMENTO DE NOVA METODOLOGIA COM  
DESMINERALIZAÇÃO ÁCIDA E ANÁLISE VOLUMÉTRICA COM  
DIFERENTES PROTOCOLOS DE AQUISIÇÃO TOMOGRÁFICA**

Linha de Pesquisa  
Diagnóstico de Afecções Buco-Faciais

PRISCILA FERNANDA DA SILVEIRA

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. HELOÍSA EMÍLIA DIAS DA SILVEIRA

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Odontologia, da Universidade  
Federal do Rio Grande do Sul,  
como pré-requisito final para a  
obtenção do título de Mestre em  
Clínica Odontológica/Radiologia.

PORTO ALEGRE

2013

CIP - Catalogação na Publicação

DA SILVEIRA, PRISCILA FERNANDA  
REABSORÇÕES RADICULARES INTERNAS  
SIMULADAS:DESENVOLVIMENTO DE NOVA METODOLOGIA COM  
DESMINERALIZAÇÃO ÁCIDA E ANÁLISE VOLUMÉTRICA COM  
DIFERENTES PROTOCOLOS DE AQUISIÇÃO TOMOGRÁFICA /  
PRISCILA FERNANDA DA SILVEIRA. -- 2013.  
68 f.

Orientadora: HELOISA EMÍLIA DIAS DA SILVEIRA.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Faculdade de Odontologia,  
Programa de Pós-Graduação em Odontologia, Porto  
Alegre, BR-RS, 2013.

1. REABSORÇÃO DA RAIZ. 2. TOMOGRAFIA  
COMPUTADORIZADA DE FEIXE CÔNICO. 3. METODOLOGIA. I.  
DIAS DA SILVEIRA, HELOISA EMÍLIA , orient. II.  
Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

***“Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo. Todos nós sabemos alguma coisa. Todos nós ignoramos alguma coisa. Por isso aprendemos sempre.”***

*Paulo Freire*

## **Agradecimento Especial**

---

A **Deus** que me fortalece, acompanha e me guia nos caminhos.

Aos meus pais, **Rosali e Luiz Fernando**, fontes de amor e dedicação incondicionais. Agradeço por apoiarem minhas decisões e pelo esforço para proporcionar as melhores condições para o alcance dos meus sonhos.

À minha irmã, **Carina**, amiga e companheira de todas as horas. Agradeço por estar ao meu lado nas dificuldades do dia-a-dia e por me entender sempre.

Ao meu irmão, **Matheus**, meu orgulho e carinho mesmo estando distante. Agradeço pelo apoio e por sempre torcer por mim.

Ao meu avô, **Sydney**, um exemplo de amor e sabedoria. Agradeço por sempre me amparar e pelos conselhos de vida, de simplicidade e de paz.

Ao meu namorado **Fábio**, parceiro de sonhos e conquistas. Agradeço por todo amor e dedicação neste período.

## **Agradecimentos**

---

À minha orientadora, *Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> **Heloísa Emília Dias da Silveira***, exemplo de dedicação e comprometimento. Agradeço por toda atenção dedicada, especialmente por guiar meus passos e ser pessoa essencial à minha formação profissional e acadêmica.

Ao *Prof Dr **Rení Raimundo Dalla Bona***, pelo carinho de sempre e pelos conselhos de vida.

Ao *Prof Dr **Heraldo Luís Dias da Silveira***, pela disponibilidade e ajuda, especialmente pelos momentos descontraídos de uma amizade construída.

À *Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> **Mariana Vizzotto***, pela orientação e apoio de sempre. Agradeço pela amizade e companhia especial em todos os momentos.

À Mestre e Doutoranda ***Gabriela Liedke***, colega de pós-graduação e de anos na equipe da Radiologia. Agradeço pela amizade e disponibilidade de sempre.

À *Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> **Nádia Arus***, agradeço pela alegre convivência e pela amizade formada neste período.

Ao *Prof. Dr **Francisco Montagner***, pela amizade e pela atenção dedicada à esta pesquisa. Agradeço pelas orientações científicas na área da Endodontia.

Ao Mestrando ***Mathias Fontana***, meu querido colega de mestrado. Agradeço por compartilhar as alegrias e sucessos, mas também os momentos de dificuldades e cansaço.

Aos bolsistas de Iniciação Científica, colegas de equipe da Radiologia, ***Lisângela, Átila, Fernanda e Guilherme***. Agradeço pelo apoio e pela amizade no período de convívio no LAPID (Laboratório de Processamento de Imagem Digital).

Aos meus colegas de ***turma de Especialização em Radiologia e Imaginologia – UFRGS***, pela amizade construída neste período e pelo apoio às questões que envolviam o mestrado.

A todos os **professores do Programa de Pós-Graduação da FO-UFRGS**, pelos ensinamentos prestados durante as aulas e, em especial, a todos os **colegas da turma de Mestrado**, pela alegre convivência durante a pós-graduação.

À **direção**, aos **professores** e aos **funcionários** da FO-UFRGS.

A todos que de alguma forma contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

## **Lista de abreviaturas e siglas**

---

RRI (IRR) – Reabsorção Radicular Interna (*Internal Root Resorption*)

UNIFRA – Centro Universitário Franciscano

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

FO-UFRGS – Faculdade de Odontologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

MEV (SEM) – Microscopia Eletrônica de Varredura (*Scanning Electronic Microscopy*)

TC - Tomografia Computadorizada

TCFC (CBCT) – Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (*Cone-beam Computed Tomography*)

microTC – microtomografia computadorizada

mm – milímetros

mm<sup>2</sup> - milímetros quadrados

% - porcentagem

2D – duas dimensões

3D – três dimensões

mm<sup>3</sup> - milímetros cúbicos

s – segundos

°C – graus celsius

h - hora

d - densidade

g/cc – grama por centímetro cúbico

g - grama

kVp – kilovolt pico

mA – miliampere

cm – centímetro

FOV – *field of view* (campo de visão)

ICC – Índice de Correlação Intraclasse

ANOVA – Análise de Variância (*Analysis of Variance*)

## **Sumário**

---

Resumo	08
Abstract	10
Introdução	12
Objetivos	20
Artigo 1	21
Artigo 2	41
Considerações Finais	60
Referências	61
Anexo	68

## Resumo

---

**Introdução:** As reabsorções radiculares internas (RRI) são lesões de difícil prognóstico e o diagnóstico é baseado em exames clínicos e de imagem. Estudos que avaliam a acurácia dos exames por imagem para a detecção de RRI, utilizam simulações realizadas por brocas, criando cavidades com forma e limites definidos diferentes da realidade clínica. Além disso, sabe-se que tão importante quanto a detecção da lesão de RRI é a capacidade de visualização do envolvimento da estrutura dentinária adjacente. Assim, este trabalho objetivou desenvolver uma nova metodologia para simulação de RRI com base na desmineralização ácida e, após, testar a influência de diferentes protocolos de aquisição de imagens tomográficas na medição do volume dessas lesões.

**Materiais e métodos:** Foi testada uma metodologia de simulação de RRI, com ação progressiva de ácido nítrico 5% e hipoclorito de sódio 8%, em onze dentes monorradiculares. As cavidades geradas foram avaliadas em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e as medidas de diâmetro e profundidade foram correlacionadas com os tempos de ação do ácido. Imagens de Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (TCFC) foram adquiridas de todos os dentes da amostra em dois aparelhos, de FOV amplo e restrito, com três protocolos de tamanho de voxel cada: I-Cat Next Generation (voxel 0,200; 0,250; 0,300 mm) e Kodak 9000 3D (voxel 0,076; 0,100; 0,200 mm). As simulações de RRI foram mensuradas com uma ferramenta de cálculo de volume do *software* Dolphin 3D. Os valores médios de volume das cavidades foram comparados com Análise de Variância (ANOVA) e Teste Tukey ( $\alpha=0,05$ ). A validação das mensurações de volume obtidas pelo *software* foi realizada por meio de moldagem das cavidades com silicona de adição. **Resultados:** As simulações de RRI reproduziram lesões de diferentes tamanhos e com profundidades de 0.22 mm a 1.59 mm. Em relação às medidas volumétricas, não houve diferença estatística significativa ( $P<0,05$ ) entre os volumes de RRI mensurados a partir dos dois menores tamanhos de voxel em cada aparelho de TCFC, mas ambos foram diferentes estatisticamente ( $P>0,05$ ) do volume calculado com os maiores tamanhos de voxel. Ainda, as médias de volume a partir das impressões em silicona foram menores que as mensuradas pelo voxel 0,200 mm. **Conclusão:** A metodologia de simulação de RRI proposta

gerou cavidades com limites irregulares e com razão de diâmetro:profundidade mais semelhante ao processo de RRI *in vivo*. Diferentes protocolos de TCFC influenciam nas medidas de volume de RRI simuladas, ressaltando a importância da padronização na aquisição das imagens para acompanhamento dessas lesões.

**Palavras-chave:** Reabsorção da Raiz, Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico, Metodologia (DeCS).

## Abstract

---

**Introduction:** The internal root resorption (IRR) injuries are difficult to predict and the diagnosis is based on clinical and radiographic examination. Studies that evaluated the accuracy of imaging tests for the detection of IRR using simulations produced by burs, created cavities with different forms and limits of clinical reality. Furthermore, it is known that as important as the IRR detection is the ability to preview the involvement of adjacent dentinal structure. Thus, this study aimed to develop a new methodology for IRR simulation-based with acid demineralization and after investigate the influence of different tomographic protocols in the measurement of the IRR lesions volume.

**Materials and methods:** A methodology was developed for simulation of IRR with progressive action of 5% nitric acid and 8% sodium hypochlorite in eleven teeth single-rooted. IRR cavities produced were evaluated by scanning electron microscopy (SEM), measured in diameter and depth and after correlated with the acid times. Cone Beam Computed Tomography (CBCT) images were acquired of all teeth in two tomography devices, with large and restrict field of view (FOV) using three voxel sizes protocols: I-Cat Next Generation (voxel 0.200, 0.250, 0.300 mm) and Kodak 9000 3D (voxel 0.076, 0.100, and 0.200 mm). IRR simulations were measured with a tool for calculating volume of the Dolphin 3D software. Volume means of the IRR cavities were compared using Analysis of Variance (ANOVA) and Tukey test ( $\alpha = 0.05$ ). A validation of the tomographic measurements was performed with addition silicone impression.

**Results:** The simulations reproduced IRR lesions with different sizes and depths (0.22mm to 1.59mm). Regarding volumetric measurements, there was no statistically significant ( $P < 0,05$ ) difference between the IRR volumes measured from the two smaller voxel sizes in each CBCT device, but both were statistically different ( $P > 0,05$ ) from the calculated volume with larger voxel sizes. Still, the volume means from silicone impressions were lower than those measured at 0.200 mm voxel. **Conclusion:** The IRR simulation methodology generated cavities with irregular borders and diameter:depth ratio more similar to *in vivo* process of IRR. Different protocols of CBCT influences the volume

measures of IRR simulated, emphasizing the importance of standardization in the acquisition of CBCT images for monitoring these lesions.

**Key Words:** Root resorption, Cone-Beam Computed Tomography ,  
Methodology

## Introdução

---

As reabsorções radiculares são complicações que podem resultar em prognóstico ruim para o paciente, levando à necessidade de extração dentária. Por este motivo, é de extrema importância um diagnóstico correto e precoce, com o intuito de preconizar o tratamento e manutenção do elemento dental.

Estas são classificadas pela literatura, basicamente, devido a sua localização, externa ou interna, e a sua etiologia. FUSS *et al.* (2003) (1) apresentam os fatores de estímulo a partir dos quais as reabsorções podem ser classificadas em: reabsorções por infecção pulpar, por infecção periodontal, por pressão (movimentação ortodôntica, dentes impactados e tumores de característica expansiva) ou por anquilose. A Reabsorção Radicular Interna (RRI) ocorre exclusivamente como resultado de inflamação pulpar, enquanto diversos tipos de reabsorções externas podem apresentar outras etiologias (1). Dessa forma, ressalta-se que a identificação do agente de estímulo para a reabsorção radicular é de extrema importância para se determinar o tratamento baseado na remoção do fator etiológico.

As células descritas como responsáveis pela reabsorção radicular, externa ou interna, são os osteoclastos, odontoclastos e dentinoclastos. Havendo alguma injúria ou irritação à dentina, cemento ou ligamento periodontal, a superfície mineralizada fica desnuda e susceptível a ação das células clásticas que serão atraídas para as áreas afetadas (2). O processo é resultado de complexas interações entre odontoclastos, cementoclastos, odontoblastos, macrófagos, monócitos e células indiferenciadas do ligamento

periodontal que, por meio de citocinas, atuam na degradação dos tecidos mineralizados (3). Segundo WANG *et al.* (2011) (4), a compreensão dos mecanismos que controlam o desenvolvimento e a ativação das células clásticas irá fornecer informações para a detecção precoce e deve ser estímulo para futuras pesquisas.

A prevalência de lesões de RRI é freqüente em dentes com histórico de alteração pulpar. VIER E FIGUEIREDO (2004) (5) examinaram 75 raízes extraídas com lesões periapicais. Os ápices radiculares foram avaliados em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e a partir disso observou-se que lesões de reabsorção apical interna estavam presentes em 74,7% dos dentes da amostra, sendo esta ocorrência associada à presença de lesão periapical. Ainda, GABOR *et al.* (2012) (6) avaliaram dentes extraídos por meio de MEV, mostrando que é significativamente diferente a presença de reabsorções radiculares internas entre os grupos de dentes saudáveis e os com alterações pulpares. Metade dos dentes com histórico de pulpíte apresentaram reabsorções internas e nos dentes com necrose pulpar a prevalência foi de 77%, a maioria delas detectadas no terço médio da raiz seguido pelo terço apical. Além disso, os autores observaram que a quantidade de reabsorção foi sempre inferior a 100µm de profundidade e que o comprimento das lesões variou de 200µm a 1mm.

Em muitos casos, a RRI é assintomática e sintomas dolorosos não aparecem até um estágio avançado da lesão. Dessa forma, a capacidade clínica de detectar essa entidade patológica depende fortemente da utilização de exames por imagem, sendo diagnosticados geralmente durante exames radiográficos de rotina. Ainda, salienta-se a importância do diagnóstico precoce

dessas lesões para que o tratamento seja iniciado o mais rápido possível, a fim de evitar perfuração radicular e extração dentária (3).

Tradicionalmente, o diagnóstico das reabsorções radiculares vem sendo baseado em exames radiográficos, convencionais ou digitais, ambos comprometidos pela sobreposição de estruturas, dificuldade inerente às imagens bidimensionais (2D). KAMBUROGLU, BARENBOIM e KAFFE (2008) (7) em estudo *in vitro*, simularam reabsorções radiculares internas em dentes extraídos e compararam a capacidade diagnóstica da radiografia convencional e de sistemas de radiografia digital, com e sem filtros. Concluíram que, à exceção das placas de fósforo, que tiveram pior detecção, não existe diferença estatisticamente significativa entre os tipos de imagem analisadas, com ou sem a presença dos filtros.

Já outros autores avaliaram a subtração radiográfica comparadas às imagens tradicionais e perceberam pouco ganho de diagnóstico com a subtração, para reabsorções simuladas, tanto internas quanto externas (8,9). Ainda, sabe-se que a interpretação de uma radiografia é subjetiva, independente do fato de ser convencional ou digital, e características do examinador, como anos de experiência e familiaridade com determinado sistema digital, têm maior impacto (10).

Com o advento da Tomografia Computadorizada (TC) e, mais recentemente, da Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (TCFC), as comparações entre as imagens radiográficas em 2D e as tomográficas em 3 dimensões (3D) foram estudadas, apresentando uma superioridade para a TCFC com relação ao diagnóstico das reabsorções radiculares (11-15).

Ressalta-se as vantagens da TCFC em relação à TC, como a dose de radiação consideravelmente inferior e redução de artefatos metálicos que causam prejuízo na imagem (16-20).

A TCFC representa um avanço para a Odontologia, tendo sido utilizada para complementação de diagnóstico e plano de tratamento nas diversas especialidades (21). Especialmente na área da endodontia, a aplicação da TCFC vem sendo destacada (22,23) pela qualidade das imagens e o pelo real ganho de diagnóstico para as afecções da região radicular e perirradicular. A qualidade de diagnóstico com as imagens em TCFC na investigação do sistema de canais radiculares, a qualidade das obturações, a detecção de fraturas radiculares e, inclusive, a detecção de reabsorções internas e externas da raiz têm apresentado melhora significativa (24-27).

Em estudo *in vivo*, PATEL *et al.* (2009) (11) compararam a acurácia da radiografia periapical com a TCFC na detecção e manejo de reabsorções radiculares. Foram investigados 5 pacientes com reabsorção interna e 5 com reabsorção externa, sendo comparados com 5 pacientes controle, sem lesões. A partir da análise da curva ROC, para a determinação da acurácia, a TCFC mostrou-se mais eficaz em detectar a presença de lesões de reabsorção, embora a radiografia tenha apresentado um aceitável nível de precisão. A amostra pequena pode ter contribuído para uma diferença estatisticamente significativa, por isso esses resultados devem ser avaliados com cautela.

Já em estudo *ex vivo*, utilizando 90 dentes incisivos inferiores extraídos, KAMBUROGLU *et al.* (2011) (15), simularam reabsorções internas e externas em 50 deles (25 – reabsorções internas/25 – reabsorções externas) e utilizaram os 40 restantes como controle. Os dentes foram colocados em

alvéolos de um crânio seco, em grupos de 6 elementos. Imagens radiográficas convencionais e tomográficas de alta resolução, voxel 0,2 mm, foram adquiridas e avaliadas por 3 examinadores. Os resultados mostraram que o valor da área sob a curva ROC foi estatisticamente superior para as avaliações da TCFC comparadas à radiografia convencional. Além disso, o estudo mostrou que as reabsorções externas foram mais corretamente detectadas que as internas, independentemente do examinador e do tipo de imagem.

### ***Metodologias para simulação de reabsorções radiculares***

Uma metodologia para a simulação das reabsorções radiculares descrita por ANDREASEN *et al.* em 1987 (28) foi reproduzida por diversos outros pesquisadores. O autor realizou a simulação de reabsorções externas em pré molares inferiores, com tamanhos médio, pequeno e grande localizadas nos terços cervical, médio e apical das superfícies proximais e livres. As cavidades possuíam diâmetro e profundidade, respectivamente, de 0,6, 1,2 e 1,8 mm e 0,3, 0,6 e 0,9 mm. Para isso a metodologia utilizou brocas esféricas com diâmetros 0,6, 1,2 e 1,8 mm, colocadas em peça reta acoplada a uma braçadeira de metal que garantia a precisão e reprodutibilidade das cavidades com a mesma profundidade.

A partir de então, muitos artigos seguiram a metodologia de simulação de reabsorções proposta por ANDREASEN *et al.* (1987) (28), tanto para reabsorções externas como para internas (24, 29-32). Ainda, outros autores adaptaram pequenas modificações nos diâmetros e profundidades das cavidades, para mais ou para menos, mas também utilizaram o mesmo princípio (7-9,15,33-35).

A característica principal desses trabalhos em relação às reabsorções radiculares simuladas, externas ou internas, é que todas são promovidas por brocas, de tamanhos diversos, mas que acabam gerando uma cavidade muito particular. A forma arredondada e limites muito bem definidos da lesão, observada nos exames de imagem, evidencia a origem não fisiológica das reabsorções. Diversos autores discutem esse tópico em seus trabalhos (7,12,14,36) concluindo que as lesões simuladas por brocas não condizem com a realidade clínica e sugerindo que estudos futuros desenvolvam uma nova metodologia elaborada com habilidade de simular mais fielmente as lesões clinicamente encontradas.

### ***Protocolos de TCFC e medidas volumétricas***

Muitos estudos têm buscado avaliar a capacidade diagnóstica e determinar o melhor método para a investigação das reabsorções radiculares, internas e externas, utilizando imagens radiográficas, tomográficas e de micro CT (6,8,9,12-15,24,28-36). Contudo, além da capacidade diagnóstica dos exames por imagem na detecção das RRI, e tão importante quanto, está a influência desses exames na qualidade da visualização das características desta lesão. Mesmo após o diagnóstico estabelecido é a determinação do tamanho, o qual se espera que seja o mais aproximado da realidade, que irá guiar a decisão do profissional quanto ao plano de tratamento. Nesse sentido, a observação do comprometimento de estrutura dentinária adjacente à RRI é fator importante para a tomada de decisão clínica, que poderá incluir manutenção ou não do elemento dentário.

A TCFC propicia a avaliação tridimensional da lesão de RRI, podendo-se realizar medidas para orientar o profissional quanto à extensão e comprometimento da estrutura dentinária. Mais recentemente, algumas áreas da odontologia estão utilizando as medições de volume, a partir da TCFC, para avaliar patologias e estruturas anatômicas (37-41). Essa avaliação é possibilitada por ferramentas de *softwares* específicos para cálculo de volume a partir de dados de TCFC.

Sabe-se que os aparelhos de TCFC apresentam diferentes doses de radiação dependendo da marca comercial e do protocolo adotado, principalmente devido às variações no tempo de escaneamento, o qual está diretamente relacionado com a resolução de voxel utilizada (42). Da mesma forma, a dose de radiação está diretamente relacionada com o número de cortes realizados, devendo-se solicitar o menor número necessário para o diagnóstico (19). Seguindo este pensamento, LIEDKE *et al.* (2009) (24) avaliaram diferentes tamanhos de voxel na detecção de reabsorção radicular externa *in vitro* e concluíram que o voxel 0,3 mm teve a mesma capacidade diagnóstica do voxel 0,2 mm, sugerindo a sua utilização com a vantagem de redução da dose de radiação ao paciente.

As medidas em TCFC são em proporção de 1:1, sendo acuradas para medidas lineares de comprimento e espessura (43). Também alguns trabalhos já verificaram a acurácia das ferramentas de volume de *softwares* como Dolphin 3D (Dolphin Imaging and Management Solutions, Chatsworth, CA, EUA) (41,44). No entanto, estes se baseiam em altas resoluções de imagem. A influência da resolução da TCFC, quanto ao tamanho de voxel, é claramente apontada pela literatura, especialmente, em relação ao diagnóstico (11). Nesse

caso, sabe-se que o menor tamanho de voxel tem maior capacidade de diagnóstico, podendo identificar alteração mais precocemente (2,24,27,46, 47).

O trabalho de YE *et al.* (2013) (44) mensurou o volume de raízes dentárias a partir de imagens de TCFC com tamanhos de voxel diferentes e encontrou que com a utilização de um de voxel maior ocorria o aumento do volume calculado pelo *software*. Os autores acreditam que, possivelmente, isso seja devido aos artefatos da imagem, em maior quantidade nos protocolos com maiores tamanhos de voxel, pois esse aumento não era condizente com o tamanho real do dente.

Assim, espera-se uma diferença na qualidade das imagens de distintos aparelhos de TCFC com a alteração nos protocolos de aquisição, como FOV e tamanho de voxel. O que estas variações na aquisição das imagens podem interferir nas medições volumétricas de RRI ainda não está claro na literatura.

Por fim, diante de todo o exposto, justifica-se a realização deste estudo que busca desenvolver uma nova metodologia de simulação de reabsorções radiculares internas, utilizando desmineralização ácida. Ainda, é necessário avaliar a influência do FOV e tamanho do voxel em TCFC nas medições de volume de reabsorções radiculares internas simuladas.

## Objetivos

---

### Geral

Desenvolver uma metodologia de simulação de reabsorções radiculares internas para estudos *ex vivo* e avaliar a influência de diferentes protocolos de aquisição de imagem em TCFC no cálculo de volume dessas lesões.

### Específicos

1. Criar uma metodologia para simulação de reabsorções radiculares internas baseada na desmineralização ácida e determinar, por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV), a profundidade e as características morfológicas das reabsorções radiculares induzidas, correlacionando-as com os diferentes tempos de ação dos líquidos;
2. Mensurar o volume das reabsorções radiculares simuladas a partir de imagens de TCFC de dois aparelhos, com FOV diferentes e três protocolos de aquisição cada, utilizando ferramenta de *software* específico. Analisar a influência nas medições de volume encontradas pelas diferentes imagens.

**Artigo 1**

---

**Development of a new *in vitro* methodology to simulate internal root  
resorption**

Priscila Fernanda da Silveira

Mariana Boessio Vizzotto

Francisco Montagner

Heraldo Luis Dias da Silveira

Heloisa Emília Dias da Silveira

Aceito para publicação - periódico *Journal of Endodontics*, 2013

DOI: 10.1016/j.joen.2013.07.007

## ABSTRACT

**Introduction:** Studies to evaluate the diagnostic power of imaging examinations to detect root resorption have been based on simulations produced by burs. Standardized, round and well outlined access cavities do not reproduce the characteristics of physiological lesions, and may facilitate diagnosis, masking the true accuracy of imaging techniques. A methodology to simulate internal root resorption using acid demineralization was developed.

**Methods:** Eleven extracted single-rooted teeth were mesially-distally sectioned into homologous halves. Root canals were labeled to ensure restricted and controlled action of fluids. The protocol was composed of 24-h cycles (nitric acid 5% for 12 h; rinsing with deionized water; sodium hypochlorite 8% for 10 min). At the end of each cycle one tooth was removed from treatment, defining an exposure time that cumulated to the last tooth. Electron microscopy imaging was assessed to determine lesion area and depth. **Results:** Minimum and maximum areas and depths were respectively 3.14 mm<sup>2</sup> and 10.34 mm<sup>2</sup> and 0.22 mm and 1.59 mm. Resorption simulated by the protocol proposed reproduced lesions of different sizes. **Conclusions:** The irregular shape and larger diameter:depth ratio suggest that these lesions are more similar to *in vivo* internal root resorption, compared to bur-induced lesions.

**Keywords:** internal root resorption; scanning electron microscopy; methodology.

Development of a new *in vitro* methodology to simulate internal root resorption

## **INTRODUCTION**

Root resorption is caused by complex interactions between inflammatory cells that promote tissue demineralization (1,2). External resorptions have different etiologies, however internal root resorption (IRR) occurs exclusively as a result of pulp inflammation (1).

IRR diagnosis is complex, because it is an asymptomatic condition. For this reason, IRR is frequently detected through radiographic examinations. The early diagnosis is important because an effective treatment should be adopted immediately to avoid root perforation and tooth extraction (2).

Several studies have employed radiographic, tomographic and micro CT imaging approaches to investigate the presence of root resorption (3-28). To assess the simulation methodologies of internal root resorption, we performed an extensive review of the studies published between 1965 and 2013 listed in PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>). The descriptors were “root resorption”, “internal root resorption” and “root resorption cone beam”. Data are presented in Table 1, which shows a wide variety of protocols used to simulate external and internal root resorption. It can be observed that imaging diagnosis studies have been purposed to evaluate simulated lesions produced by burs, in different sizes with symmetrical forms.

The internal root resorption process results from cytokine-mediated cell interactions involving clastic cells like osteoclasts, odontoclasts and dentinoclasts. These interactions are not controlled, and generate irregular lesions (2,29). Therefore, the aim of the present study was to demonstrate a

method to produce simulated internal root resorption lesions based on acid demineralization

## **MATERIAL AND METHODS**

This study was approved by the Ethics Committee in Research (Protocol number 23378 - Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil). Eleven single rooted extracted human teeth were used (upper canines and incisors) donated by the Tooth Bank of the Franciscan University of Santa Maria (Protocol number 0079, UNIFRA, Santa Maria, RS, Brazil,).

For sample preparation, all teeth were mesially-distally sectioned in the mesio-distal direction with a diamond disk (Buehler Diamond Cut-Off Wheels 114243, Buehler, Lake Bluff, USA) coupled to an electric saw (IsoMet, Low Speed Saw, Buehler, Lake Bluff, USA) producing two identical halves equidistant to the section line.

The root extension was carefully measured with a digital caliper (Mitutoyo Sul Americana Ltda, Santo Amaro, SP, Brazil). The root length was determined and the middle third area was delimited, ensuring that resorption was simulated at the same. This measure was adopted to facilitate superimposition of the root sections. A cylindrical chamber (2 mm diameter, 2 mm height) was made with compound resin (Filtek Z250, 3M ESPE, USA) to limit the substances application (Figure 1). The dentin was covered by application of adhesive system and polymerization. Compound resin was inserted incrementally and polymerized (Filtek Z250, 3M ESPE, USA). Distilled water was inserted inside the chamber to ensure the absence of fluid leakage.

IRR was produced by a demineralization protocol with nitric acid and

sodium hypochlorite solutions. The cylindrical chamber was filled to its top with each respective substance. They were delivered into the chamber with plastic and disposable micropipettes. Deionized water was employed to wash the chamber before each substance placement. Each demineralization cycle comprised: 5% nitric acid solution, for 12 hours; 8% sodium hypochlorite, for 10 min; and, 5% nitric acid solution, for 12 hours. Samples were kept at  $-1^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) during all the IRR induction period. The protocol was performed for 11 days. One tooth was removed from the cycling process each day. At the end of the determined number of cycles, the resin cylindrical chamber was detached from the middle third of the root with an orthodontic plier (#193). The residues of the substances were removed with a 24h rinsing bath in tap water. The sample sections with the simulated IRR were analyzed through imaging methods.

Radiographic and tomographic images of the sample section were acquired before and after treatment using the digital system (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Germany) and an X-ray device (Dabi Atlante, 127V, 7.5A, 50/60Hz), and a tomographer (i-Cat Next Generation, Imaging Sciences International, Inc., Hatfield, PA, USA).

Samples were analyzed through scanning electron microscopy to measure the IRR artificially produced. Tooth sections were stored in 100% silica gel (4 – 8 mm) to remove moisture. They were mounted on metallic stubs and stored at  $37^{\circ}\text{C}$  for 24h. Tooth sections were covered with a thin layer of gold and analyzed through a scanning electronic microscope – SEM (JSM-5800, JEOL, Tokyo, Japan) ( $\times 25$ ; 10 kV)(Electronic Microscopy Laboratory, Federal University of Rio Grande do Sul). Specimens were visualized from the coronal, after root perpendicular section, and sagittal plane, after equidistant sectioning,

to assess the area and the depth of lesions, respectively, as depicted in Figure 2.

SEM images were inspected using the Image J software (NIH; <http://rsb.info.nih.gov/ij/>). SEM measurements were used to calculate mean area, diameter and depth of lesions on the tooth halves exposed to the treatment protocol for different times.

An examiner calibrated images and carried out area, length (cervical-occlusal and medial-distal/vestibular-lingual directions) and depth measurements, based on the deepest point of the resorption surface. Values were expressed as means of the area and diameter measurements for each tooth half, and as means of the four depth measurements in segmented halves.

## **RESULTS**

According to the SEM images measurements, the mean lesion area ranged from 3.14 mm<sup>2</sup> to 10.34 mm<sup>2</sup>. The mean lesion depth ranged from 0.22 mm to 1.59 mm. The values for area and lesion depth are expressed in Table 2, according to the time of exposure to the protocol.

The morphological features of resorption lesions produced in teeth exposed to 1 (A), 5 (B) and 10 (C) days are shown in Figure 2. The images show the coronal internal root surfaces (A, B, C) and the sagittal aspect for one of the segments (a, b, c). The IRR lesions had irregular limits.

Figure 3 shows the radiographic and CBCT images of teeth exposed to 1, 6 and 11 days to the demineralization protocol (1b-d, 6b-d, 11b-d, respectively). Images labeled "a" were taken prior to treatment to allow comparison.

## DISCUSSION

This study reports the development of a new methodology to simulate internal root resorption. Andreasen *et al.* (1987)(3) indicated the use of burs with different diameters to produce small to intermediate IRR, with different diameters and depth. Current literature has reported several protocols adaptation for internal and external root resorption simulations based on the use of burs (9-22). These protocols generate uniform, well-characterized cavities (2-27). However, the natural root resorption process does not have a regular progressing behavior and generates irregular lesions (2,29). Several authors have mentioned that IRR lesions produced by burs did not reflect the clinical findings. They have also emphasized further efforts should be made to develop new methodologies for IRR induction (15,20,21,24). Therefore, the present suggests a protocol to produce IRR lesions through acid demineralization.

The present protocol using acid demineralization required previous tooth segmentation, with subsequent repositioning. Previous studies also employed different IRR location in the root canal and different size of the simulated lesions (diameter and depth). Lesions were simulated on the root middle third of both halves of one same tooth because it has been reported that there is a high frequency of IRR in this specific area (28). According to the literature review, the smallest IRR lesions had 0.2 mm in diameter and 0.2 mm in depth (25). In turn, the largest measured 1.6 mm in diameter and 0.8 mm in depth (23,24).

Based on the most studies on external root resorption (3-22), methods used to simulate internal root resorption used lesions whose depth corresponded to half the diameter of the burs employed for that end (23,24).

Other methodologies have simulated lesions of equivalent diameter and depth (12,25,26,28).

In 1992, Kravitz *et al.* (30) developed a serial demineralization process using hydrochloric acid (HCl) to quantify external root resorptions based on digital subtraction radiography. Eraso *et al.* (31) reproduced this method to investigate apical demineralization in external resorption simulations. Compared to previous research, the change in protocol adopted here endeavored to produce internal root resorption of different diameter:depth ratios, with no definite pattern, due to the free action of nitric acid 5% on the dentin surface. Table 2 shows that the shortest lesion (0.22 mm), observed in the tooth exposed to the treatment for 1 day, had a diameter of approximately 10 times that value (2.29/1.95 mm). From the second day of treatment on, this ratio dropped considerably, producing lesions with diameter:depth ratios of 2.5, in teeth exposed to treatment for 2 and 3 days. In turn, the lesions induced by nitric acid 5% in teeth exposed for 4 and 5 days, although larger, kept diameter:depth ratios around 2, a value already reported in the literature. From the 6<sup>th</sup> to the 8<sup>th</sup> day of exposure to treatment, this ratio rose again, remaining essentially constant until the 11<sup>th</sup> day, with values similar to those seen in previous studies (3-8). Table 2 also shows that measurements increased gradually with treatment time, revealing that this methodology can produce differently sized lesions which may be reproduced depending on study design requirements.

Figure 2 shows SEM microphotographs of teeth exposed to treatment for 1 (A), 5 (B) and 10 (C) days. Note the variation in diameter:depth ratios with time, especially the limitation to flow afforded by the resin conduit designed to

deliver fluids to the canals (coronal section). This might be one of the drawbacks of the method, since lesions are influenced by the internal diameter of the conduit, which was standardized at 2 mm. However, it became clear that nitric acid 5% could flow freely beyond the conduit, inducing resorption of varied sizes and, as shown in the sagittal sections, facilitating acid infiltration and the consequent action on dentin. Additionally, the irregular shape of lesions, a marked difference trait in comparison to the uniformity of bur-induced lesions, is also evident.

SEM imaging was used to assess the morphology of acid-induced lesions and to visualize the dentin inorganic matrix of teeth treated to simulate internal root resorption. In a recent *ex vivo* study, Gabor *et al.* (28) also used SEM to assess internal root resorption. The authors evaluated the internal root surfaces of extracted teeth, noticing that the presence of internal resorption is significantly higher in teeth with pulp changes. They also observed that most lesions were located in the middle third, a site also chosen here for acid demineralization challenge. In that study, all lesions were under 100  $\mu\text{m}$  (0.1 mm) in depth and presented diameters between 200  $\mu\text{m}$  (0.2 mm) and 1 mm. These smaller sizes are similar to the resorption simulated by nitric acid 5% in the tooth exposed to treatment for one day in the present study, which presented the highest diameter:depth ratio and agreed with the findings of physiological resorption observed by Gabor *et al.* (28). Also, this result contrasts with findings of most studies that used larger access cavities for evaluation and diagnostic tests, in which size interferes with the investigation.

Regarding imaging analyses, the literature lists a variety of studies comparing the diagnostic power of conventional radiography, subtraction

radiography and, more recently, cone beam computer scans to detect root resorption, both external and internal (Table 1). Our concern here was to assess images of teeth before and after treatment so as to validate the method proposed. As shown in Figure 3, radiographs and tomographic imaging of lesions of different sizes caused by exposure to treatment for 1, 6 and 11 days prove the capacity of the protocol tested to produce simulations that are similar to the physiological internal root resorption, already described in the literature (32,33).

Root resorption simulated by the method proposed reproduced lesions of different sizes. The irregular shape and the larger diameter, in comparison to depth, suggest that these lesions are similar to *in vivo* internal root resorption.

## REFERENCES

1. Fuss Z, Tsesis I, Lin S. Root resorption--diagnosis, classification and treatment choices based on stimulation factors. *Dent Traumatol* 2003;19:175-182.
2. Patel S, Ricucci D, Durak C, Tay F. Internal root resorption: a review. *J Endod* 2010;36:1107-1121.
3. Andreasen FM, Sewerin I, Mandel U, Andreasen JO. Radiographic assessment of simulated root resorption cavities. *Endod Dent Traumatol* 1987;3:21-27.
4. Goldberg F, De Silvio A, Dreyer C. Radiographic assessment of simulated external root resorption cavities in maxillary incisors. *Endod Dent Traumatol* 1998;14:133-136.

5. Hintze H, Wenzel A, Andreasen FM, Swerin I. Digital subtraction radiography for assessment of simulated root resorption cavities. Performance of conventional and reverse contrast modes. *Endod Dent Traumatol* 1992;8:149-154.
6. da Silveira HL, Silveira HE, Liedke GS, Lermen CA, Dos Santos RB, de Figueiredo JA. Diagnostic ability of computed tomography to evaluate external root resorption in vitro. *Dentomaxillofac Radiol* 2007;36:393-396.
7. Liedke GS, da Silveira HE, da Silveira HL, Dutra V, de Figueiredo JA. Influence of voxel size in the diagnostic ability of cone beam tomography to evaluate simulated external root resorption. *J Endod* 2009;35:233-235.
8. Lermen CA, Liedke GS, da Silveira HE, da Silveira HL, Mazzola AA, de Figueiredo JA. Comparison between two tomographic sections in the diagnosis of external root resorption. *J Applied Oral Science* 2010;18:303-307.
9. Chapnick L. External root resorption: an experimental radiographic evaluation. *Oral SurgOral MedOral Pathol* 1989;67:578-582.
10. Alqerban A, Jacobs R, Souza PC, Willems G. In-vitro comparison of 2 cone-beam computed tomography systems and panoramic imaging for detecting simulated canine impaction-induced external root resorption in maxillary lateral incisors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;136:764.e1-11.
11. Alqerban A, Jacobs R, Fieuws S, Nackaerts O. Comparison of 6 cone-beam computed tomography systems for image quality and detection of simulated canine impaction-induced external root resorption in maxillary lateral incisors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;140:e129-e139.

12. Kamburoglu K, Kursun S, Yuksel S, Oztas B. Observer ability to detect ex vivo simulated internal or external cervical root resorption. *J Endod* 2011;37:168-175.
13. Ono E, Medici Filho E, Faig Leite H, Tanaka JL, De Moraes ME, De Melo Castilho JC. Evaluation of simulated external root resorptions with digital radiography and digital subtraction radiography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;139:324-333.
14. D'Addazio PS, Campos CN, Ozcan M, Teixeira HG, Passoni RM, Carvalho AC. A comparative study between cone-beam computed tomography and periapical radiographs in the diagnosis of simulated endodontic complications. *Int Endod J* 2011;44:218-224.
15. Durack C, Patel S, Davies J, Wilson R, Mannocci F. Diagnostic accuracy of small volume cone beam computed tomography and intraoral periapical radiography for the detection of simulated external inflammatory root resorption. *Int Endod J* 2011;44:136-147.
16. Dalili Z, Taramsari M, Mousavi Mehr SZ, Salamat F. Diagnostic value of two modes of cone-beam computed tomography in evaluation of simulated external root resorption: an in vitro study. *Imaging SciDent* 2012;42:19-24.
17. Neves FS, Vasconcelos TV, Vaz SLA, Freitas DQ, Haiter-Neto F. Evaluation of reconstructed images with different voxel sizes of acquisition in the diagnosis of simulated external root resorption using cone beam computed tomography. *Int Endod J* 2012;45:234-239.
18. Neves FS, Freitas DQ, Campos PSF, de Almeida SM, Haiter-Neto F. *In vitro* comparison of cone beam computed tomography with different voxel

- sizes for detection of simulated external root resorption. *J Oral Sci* 2012;54:219-225.
19. Azevedo Vaz SL, Vasconcelos TV, Sampaio Neves F, Queiroz de Freitas D, Haiter-Neto F. Influence of Cone-Beam Computed Tomography Enhancement Filters on Diagnosis of Simulated External Root Resorption. *J Endod* 2012;38:305–308.
  20. Bernardes RA, de Paulo RS, Pereira LO, Duarte MA, Ordinola-Zapata R, de Azevedo JR. Comparative study of cone beam computed tomography and intraoral periapical radiographs in diagnosis of lingual-simulated external root resorptions. *Dent Traumatol*, 2012;28:268-272.
  21. Ren H, Chen J, Deng F, Zheng L, Liu X, Dong Y. Comparison of cone-beam computed tomography and periapical radiography for detecting simulated apical root resorption. *Angle Orthod* 2013;83:189-195.
  22. Ponder SN, Benavides E, Kapila S, Hatchd NE. Quantification of external root resorption by low- vs high-resolution cone-beam computed tomography and periapical radiography: A volumetric and linear analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;143:77-91.
  23. Holmes JP, Gulabivala K, van der Stelt PF. Detection of simulated internal tooth resorption using conventional radiography and subtraction imaging. *Dentomaxillofac Radiol* 2001;30:249-254.
  24. Kamburoglu K, Barenboim SF, Kaffe I. Comparison of conventional film with different digital and digitally filtered images in the detection of simulated internal resorption cavities--an ex vivo study in human cadaver jaws. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 2008;105:790-797.

25. Kamburoglu K, Barenboim SF, Arituörk T, I Kaffe I. Quantitative measurements obtained by micro-computed tomography and confocal laser scanning microscopy. *Dentomaxillofac Radiol* 2008;37:385–391.
26. Kamburoglu K, Kursun S. A comparison of the diagnostic accuracy of CBCT images of different voxel resolutions used to detect simulated small internal resorption cavities. *Int Endod J* 2010;43:798-807.
27. Stephanopoulos G, Mikrogeorgis G, Lyroudia K. Assessment of simulated internal resorption cavities using digital and digital subtraction radiography: a comparative study. *Dent Traumatol* 2011;27:344-349.
28. Gabor C, Tam E, Shen Y, Haapasalo M. Prevalence of internal inflammatory root resorption. *J Endod* 2012;38:24-27.
29. Gunraj MN. Dental root resorption. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 1999;88:647-653.
30. Kravitz LH, Tyndall DA, Bagnell CP, Dove SB. Assessment of external root resorption using digital subtraction radiography. *J Endod* 1992;18:275–284.
31. Eraso FE, Parks ET, Roberts WE, Hohlt WF, Ofner S. Density value means in the evaluation of external apical root resorption: an in vitro study for early detection in orthodontic case simulations. *Dentomaxillofac Radiol* 2007;36:130–137.
32. Patel S, Dawood A, Wilson R, Horner K, Mannocci F. The detection and management of root resorption lesions using intraoral radiography and cone beam computed tomography—an in vivo investigation. *Int Endod J* 2009;42:831-838.

33. Bhuva B, Barnes JJ, Patel S. The use of limited cone beam computed tomography in the diagnosis and management of a case of perforating internal root resorption. *Int Endod J* 2011;44:777–786.

**Table 1** Imaging diagnosis studies about protocols of simulation of external and internal root resorption produced by burs of different sizes (diameters, d, and depths, p) with symmetrical forms.

PROTOCOLS OF SIMULATION OF ROOT RESORPTION			
External			
Ref	STUDY	IMAGE	LESION SIZE
3	Andreasen <i>et al.</i> , 1987	PR	d:0.6mm/1.2mm/1.8mm p:0.3mm/0.6mm/0.9mm
4	Goldberg <i>et al.</i> , 1998	PR	
5	Hintze <i>et al.</i> , 1992	CR/DR	
		SR	
6	Silveira <i>et al.</i> , 2007	TC	
7	Liedke <i>et al.</i> , 2009	CBCT	
8	Lermen <i>et al.</i> , 2010	TC	
9	Chapnick, 1989	PR	d:0.3mm/0.5mm/0.8mm p:0.6mm/0.8mm/0.8mm
10	Ali Alqerban <i>et al.</i> , 2009	CBCT	d:0.16mm
11	Ali Alqerban <i>et al.</i> , 2011	CBCT	p:0.15mm/0.20mm/0.30mm;0.6mm/1.0mm; 1.5mm/2.0mm/3.0mm
12	Kamburoglu <i>et al.</i> , 2011	CBCT	d:0.5mm p:0.5mm
13	Ono <i>et al.</i> , 2011	DR-SR	d:0.5mm/1.0mm/1.2mm/1.4mm p:0.4mm/0.9mm/1.1mm/1.3mm
14	D'Addazio <i>et al.</i> , 2011	PR/CBCT	d:2mm p:1mm
15	Durack <i>et al.</i> , 2011	PR/CBCT	d:0.5mm/1.0mm
16	Dalili <i>et al.</i> , 2012	CBCT	p:0.25mm/0.5mm
17	Neves <i>et al.</i> , 2011;	CBCT	d:0.26mm/0.62mm/1.05mm p:0.08mm/0.19mm/0.24mm
18	Neves <i>et al.</i> , 2012;	CBCT	
19	Vaz <i>et al.</i> , 2012;	CBCT	
20	Bernardes <i>et al.</i> , 2012	PR/CBCT	d:0.3mm/0.6mm p:0.15mm/0.30mm
21	Ren <i>et al.</i> , 2013	PR/CBCT	d:1.0mm p:1.0mm
22	Ponder <i>et al.</i> , 2013	PR/CBCT Micro CT	d:1.0mm/1.8mm p:1.0mm/1.8mm
Internal			
23	Holmes <i>et al.</i> , 2001	DR-SR	d:0.6mm/0.8mm/1.0mm/1.2mm/1.4mm/0.16mm p:0.3mm/0.4mm/0.5mm/0.6mm/0.7mm/0.8mm
24	Kamburoglu <i>et al.</i> , 2008	CR/DR	d:0.8mm/1.2mm/1.6mm p:0.4mm/0.6mm/0.8mm
25	Kamburoglu <i>et al.</i> , 2008	Micro CT	d:0.2mm/0.3mm p:0.2mm/0.3mm
26	Kamburoglu and Kursun, 2010	CBCT	d:0.5mm
12	Kamburoglu <i>et al.</i> , 2011	CBCT	p:0.5mm
27	Stephanopoulos <i>et al.</i> , 2011	DR-SR	d:0.5mm/0.6mm/0.8mm/1.0mm/1.2mm p:0.5mm/0.6mm/0.8mm/1.0mm/1.2mm

PR= periapical radiographs

CR= conventional radiographs

DR= digital radiographs

SR = subtraction radiography

CBCT = cone beam computerized tomography

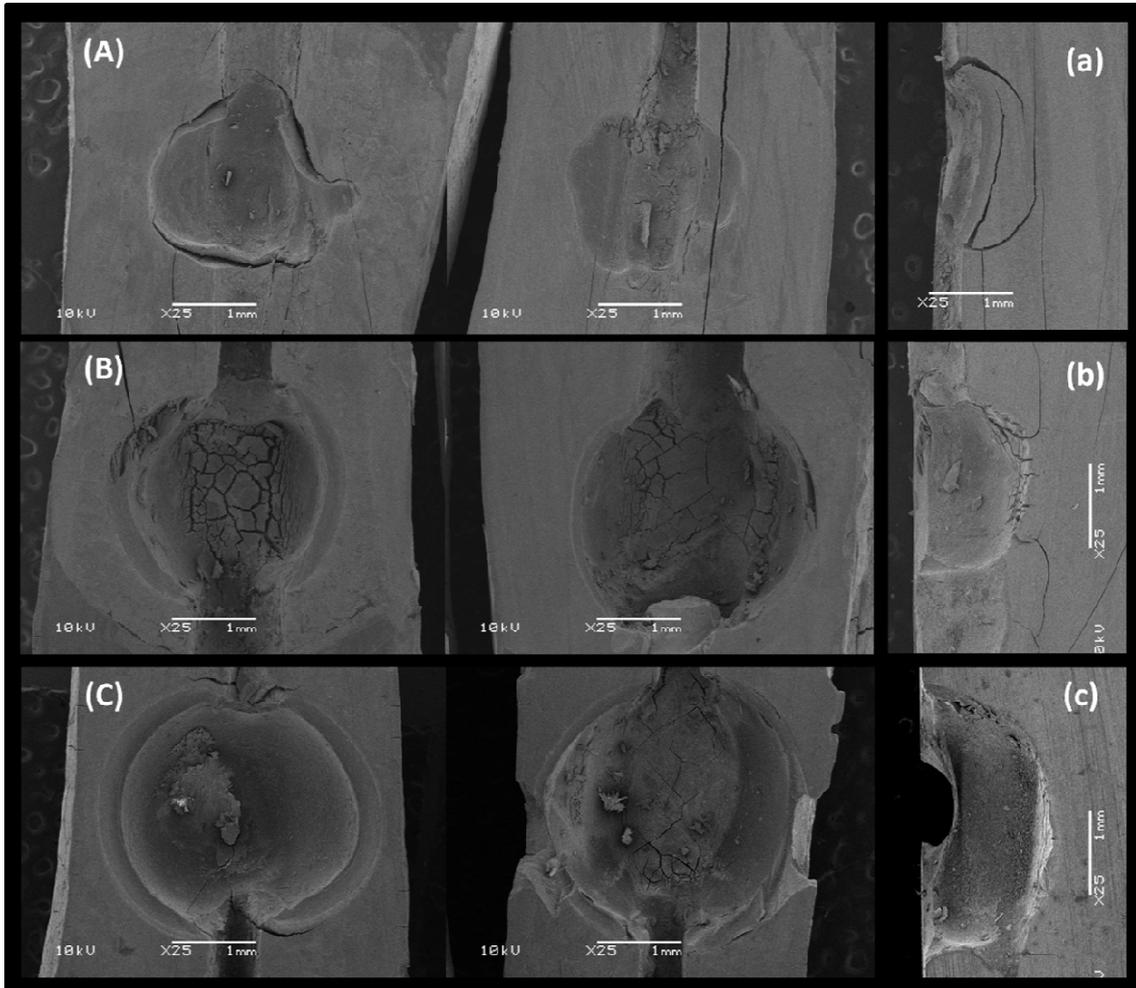
**Table 2** Mean area, diameter and length values in tooth halves of teeth exposed to nitric acid 5% for different time periods.

Tooth	Area	Diameter	Depth
			
<b>01</b>	3.135mm <sup>2</sup>	2.29/1.95mm	0.22mm
<b>02</b>	3.85mm <sup>2</sup>	2.24/2.05mm	0.87mm
<b>03</b>	4.19mm <sup>2</sup>	2.22/2.39mm	0.93mm
<b>04</b>	4.9mm <sup>2</sup>	2.15/2.76mm	1.19mm
<b>05</b>	6.68mm <sup>2</sup>	2.89/2.73mm	1.49mm
<b>06</b>	6.15mm <sup>2</sup>	2.71/2.70mm	1.05mm
<b>07</b>	8.67mm <sup>2</sup>	3.33/3.22mm	1.35mm
<b>08</b>	7.4mm <sup>2</sup>	3.22/2.73mm	1.17mm
<b>09</b>	8.25mm <sup>2</sup>	3.16/3.21mm	1.37mm
<b>10</b>	8.85mm <sup>2</sup>	3.39/3.26mm	1.59mm
<b>11</b>	10.34mm <sup>2</sup>	3.48/3.74mm	1.55mm

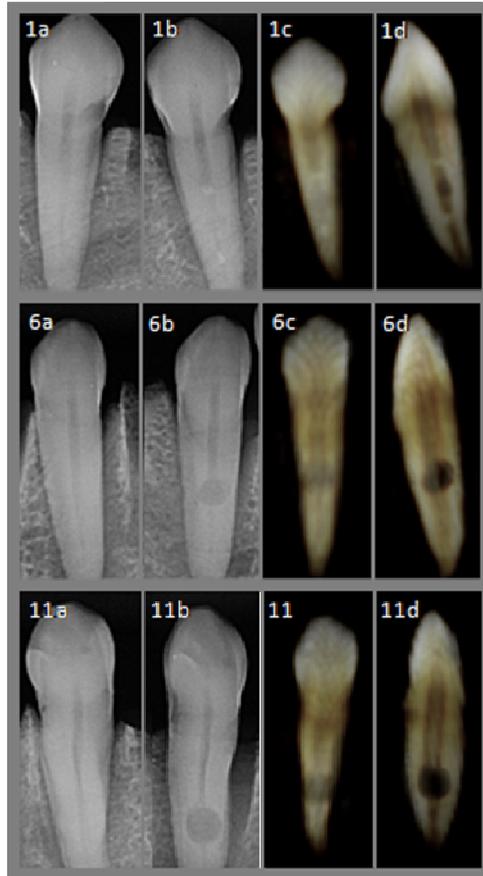
**Figure 1** Tooth used, longitudinally sectioned, showing conduit designed to deliver fluids to the dentin surface in a controlled and restricted way using a Pasteur pipette.



**Figure 2** Scan electron microscopy imaging (10 kV, 25x magnification) showing resorption areas and shapes (A, B, C) and depth (a, b, c) in teeth exposed to nitric acid 5% for 1, 5 and 10 days, respectively.



**Figure 3** Radiographs and tomographic images of three teeth before (1a, 6a and 11a) and after exposure to nitric acid 5% treatment for 1, 6 and 11 days for demineralization.



**Artigo 2**

---

**Análise da influência do FOV e do tamanho de voxel em TCFC nas  
medições de volume de reabsorções radiculares internas simuladas**

*Priscila Fernanda da Silveira*

*Mathias Pante Fontana*

*Helena Willhelm Oliveira*

*Francisco Montagner*

*Mariana Boessio Vizzotto*

*Heraldo Luis Dias da Silveira*

*Heloisa Emilia Dias da Silveira*

*A ser enviado para publicação - periódico Journal of Endodontics.*

## RESUMO

**Introdução:** Ferramentas de cálculo de volume vêm sendo utilizadas para mensurar patologias e estruturas anatômicas a partir de Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (TCFC), contudo, a influência dos protocolos de aquisição nessas mensurações ainda não está esclarecida. Objetivou-se verificar a influência do FOV (Field Of View) e do tamanho de voxel nas medições de volume de reabsorções radiculares internas simuladas (RRI) em imagens de TCFC. **Materiais e métodos:** Simulações de RRI com desmineralização ácida foram realizadas em onze dentes monorradiculares. Imagens de TCFC foram adquiridas em dois aparelhos, FOV amplo e restrito, com três tamanhos de voxel cada: I-Cat Next Generation (voxel 0,200; 0,250 e 0,300 mm) e Kodak 9000 3D (voxel 0,076; 0,100 e 0,200 mm). Medidas de volume das RRI foram calculadas com o *software* Dolphin 3D. As médias dos volumes foram comparadas por meio da Análise de Variância (ANOVA) e Teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ). A validação das medidas volumétricas foi realizada por meio da moldagem das cavidades de RRI com silicona de adição. **Resultados:** Não ocorreram diferenças estatisticamente significantes ( $P>0,05$ ) entre as médias dos volumes das cavidades mensuradas com voxel 0,200 e 0,250 mm, mas ambas foram diferentes ( $P<0,05$ ) do voxel 0,300 mm para o tomógrafo I-Cat Next Generation. No tomógrafo Kodak 9000 3D não houve diferença estatística ( $P>0,05$ ) entre os volumes nos tamanhos de voxel 0,076 mm e 0,100 mm, mas ambos foram estatisticamente diferentes ( $P<0,05$ ) dos volumes no voxel 0,200 mm. Entre os tomógrafos não houve diferença estatística entre os volume mensurados pelo voxel 0,200 mm ( $P>0,05$ ). As médias de volume a partir das impressões em silicona foram menores que as mensuradas pelo voxel 0,200 mm e semelhantes às do voxel 0,300 mm. **Conclusão:** Protocolos com diferentes tamanhos de voxel, independentemente do FOV, influenciam nas medidas de volume de RRI simuladas. Desta forma, ressalta-se a importância da padronização na aquisição de imagens de TCFC para evitar erros de interpretação quanto à extensão das lesões que poderiam influenciar na tomada de decisão clínica.

**Palavras-chave:** reabsorção da raiz; Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico; medidas.

Análise da influência do FOV e do tamanho de voxel em TCFC nas medições de volume de reabsorções radiculares internas simuladas.

## INTRODUÇÃO

Reabsorções radiculares internas (RRI) são lesões relacionadas a dentes com processo inflamatório pulpar e têm prognóstico difícil. O diagnóstico é baseado nos exames clínico e por imagem, sendo a detecção precoce importante para o sucesso do tratamento (1). Estudos têm destacado a melhor acurácia da Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (TCFC) frente aos demais tipos de exames por imagem, sendo considerada uma ferramenta importante no diagnóstico de lesões iniciais de RRI (2,3).

Além da capacidade diagnóstica destacada, a TCFC propicia a avaliação tridimensional da lesão de RRI, podendo-se realizar medidas para orientar o profissional quanto à extensão e ao comprometimento da estrutura dentinária. Mais recentemente, algumas áreas da odontologia estão utilizando as medições de volume, realizadas a partir das imagens de TCFC, para avaliar diferentes patologias e estruturas anatômicas, como seios maxilares e vias aéreas (4-8). Essa análise é possibilitada por ferramentas de *softwares* específicos para cálculo de volume a partir de dados da TCFC.

As medidas em TCFC são em proporção de 1:1, sendo acuradas para medidas lineares de comprimento e espessura (9). A acurácia das ferramentas de volume de *softwares* como o Dolphin 3D (Dolphin Imaging and Management Solutions, Chatsworth, CA, EUA) já foram verificadas em alguns estudos(8,10). No entanto, estes se basearam em altas resoluções de imagem. A influência do tamanho de voxel na resolução da TCFC é claramente apontada pela literatura, especialmente em relação ao diagnóstico (11). Nesse caso, sabe-se que,

geralmente, o menor tamanho de voxel gera imagens com melhor capacidade de diagnóstico em fases precoces de diversas alterações (12-16). Diferenças são observadas na qualidade das imagens obtidas em distintos aparelhos de TCFC, com modificações nos protocolos de aquisição como FOV (*Field Of View*) e tamanho de voxel. O que essas variações na aquisição das imagens podem interferir nas medições volumétricas ainda não está claro na literatura.

Sendo assim, frente à inexistência de uma avaliação entre diferentes protocolos de aquisição de TCFC e a relação com as ferramentas de análise de volume em RRI, objetivou-se, neste estudo, investigar a influência do FOV e tamanho de voxel em TCFC nas medições de volume de reabsorções radiculares internas simuladas.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### ***Preparo das amostras***

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil). Onze dentes humanos monorradiculares extraídos, caninos e incisivos superiores, foram selecionados para a realização de um protocolo de simulação de RRI, já definido anteriormente em outro estudo, baseado na desmineralização ácida (17). Resumidamente, os dentes foram seccionados longitudinalmente, no sentido méso-distal, com disco de diamante (Buehler Diamond Cut-Off Wheels, nº 114243, Buehler, Lake Bluff, USA) acoplado à cortadeira elétrica (IsoMet, Low Speed Saw, Buehler, Lake Bluff, USA). A extensão do canal radicular foi medida com um paquímetro digital (Mitutoyo Sul Americana Ltda, Santo Amaro, SP, Brasil) para a determinação do terço médio

radicular onde foram realizadas as simulações de reabsorções internas produzidas pela ação do ácido Nítrico 5% e Hipoclorito de Sódio 8%, nos tempos de 1 a 11 dias. Assim, foram criadas cavidades de onze tamanhos diferentes, sem regularidade de forma, representando mais fielmente a realidade clínica.

### ***Aquisição das imagens***

Imagens tomográficas foram adquiridas de todos os dentes da amostra. Para isso, eles foram posicionados dentro de alvéolos produzidos em uma mandíbula seca, coberta com uma camada de cera para simulação dos tecidos moles. O posicionamento dos dentes da amostra foi mantido igual em todas as aquisições. Foram adquiridas imagens em dois aparelhos de TCFC com diferentes tamanhos de FOV e, em cada um deles, foram utilizados três protocolos de tamanho de voxel (Tabela 01). Desta forma, cada dente da amostra foi escaneado a partir de 6 protocolos de aquisição distintos de TCFC.

Tabela 01: Aparelhos de TCFC com protocolos de tamanho de voxel, FOV, corrente, voltagem e tempo de escaneamento utilizados no estudo.

Group	Voxel (mm)	FOV (cm)	Current (mA)	Voltage (kV)	time scan (s)
i-Cat Next Generation (Imaging Sciences International, Inc., Hatfield, PA, EUA)	0,200	6 X 16	120	37,07	26,9
	0,250			37,07	26,9
	0,300			18,54	8,9
Kodak 9000 3D (KODAK Dental Systems, Carestream Health, Rochester, NY, USA)	0,076	5 X 3,7	8	60	18,8
	0,100				
	0,200				

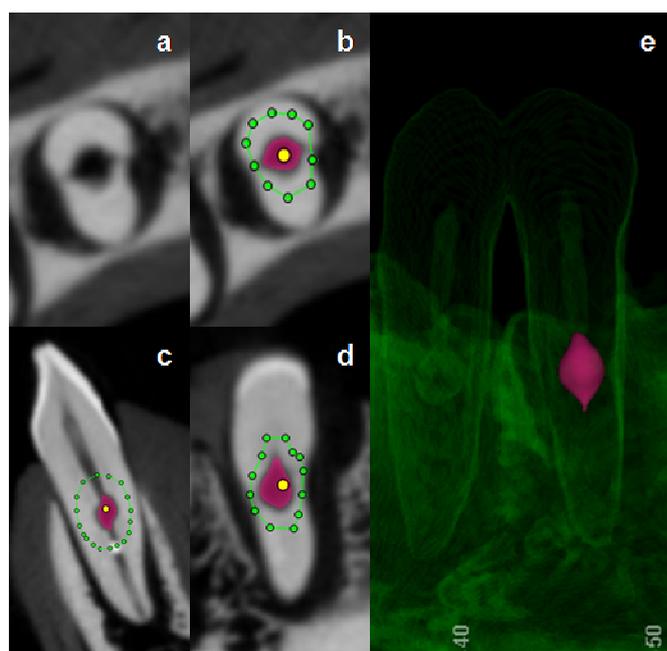
\*FOV = *Field Of View*

### ***Cálculo do Volume***

Os arquivos em formato DICOM foram importados para o *software* Dolphin 3D (Dolphin Imaging and Management Solutions, Chatsworth, CA, EUA) e visualizadas em monitor tela plana de 22 polegadas (LG, Flatron

E2250, Brasil). As medidas de volume das RRI foram realizadas por um operador treinado e calibrado. As medições realizadas foram repetidas com intervalo de pelo menos uma semana e o Coeficiente de Correlação Intraclassa (ICC) calculado foi de 0,999 ( $p < 0,001$ ). Foi utilizada uma ferramenta do *software* (*Sinus/ airway*) que define e calcula volume de estruturas anatômicas, como seio maxilar e vias aéreas. A sensibilidade da ferramenta foi cuidadosamente determinada em cada tipo de imagem, conforme permite o uso do *software*, para o preenchimento do volume a ser calculado. De forma manual, o operador definiu a abrangência da lesão, realizando ajustes nos cortes sagitais, coronais e axiais, como mostra a Figura 01. Após, a medida de volume das simulações de RRI foi determinada em  $\text{mm}^3$  automaticamente pelo *software*.

Figura 01: Imagens de TCFC (i-Cat 0,200 mm) de um dente da amostra com as etapas da ferramenta do *software* Dolphin 3D para visualização e cálculo do volume das simulações de RRI deste estudo.



Legenda: a = corte axial, visualização da RRI; b = Corte axial, demarcação da RRI e preenchimento do *software*; c = corte sagital; d = corte coronal; e = reconstrução volumétrica do dente com o volume da RRI.

### ***Análise Estatística***

As médias dos volumes das RRI dos dentes da amostra, de cada aparelho e protocolo de aquisição foram analisadas com Análise de Variância (ANOVA) para blocos casualizados e, após, complementada pelo teste de comparações múltiplas de Tukey (nível de significância de 5%).

### ***Validação das medidas de volume***

A fim de validar as medidas de volume calculadas pelo *software* Dolphin3D e correlacionar com a realidade clínica, foi realizada a moldagem das simulações de RRI e, após, executado o cálculo do volume. Para isso, um grupo adicional de 6 dentes monorradiculares foi utilizado. Em três foram simuladas lesões de RRI de tamanho médio e em três lesões de tamanho grande, como já especificadas em estudo anterior (17). As cavidades foram moldadas com silicona de adição Elite HD Light-Body (Elite HD+; Zhermack SpA, Badia Polesine, Italy). A silicona de adição de consistência fluida foi aplicada com pontas de auto-mistura diretamente no interior das cavidades, mantendo o cuidado para evitar bolhas e realizar a cópia mais fielmente possível. Ao término do preenchimento, promoveu-se o reposicionamento das metades segmentadas e, após o tempo de presa do material de moldagem, se obteve as impressões das cavidades.

O cálculo do volume foi executado após a pesagem das impressões das simulações de RRI em balança de precisão (Schimadzu Corporation, Kyoto, Japan), sendo o valor da massa dividido pela densidade do material ( $d=1,40\text{g/cc}$ ), de forma semelhante à realizada por outros estudos (6-8). O

resultado encontrado foi transformado em mm<sup>3</sup> para ser comparado com os valores determinados pela ferramenta de cálculo de volume do *software* Dolphin 3D.

Foram adquiridas imagens de TCFC nos protocolos 0,200, 0,250 e 0,300 mm no tomógrafo I-Cat Next Generation e calculados os volumes das cavidades. Após os resultados foram comparados com aqueles encontrados a partir das impressões em silicóna de adição. Os valores foram avaliados de forma descritiva e estão apresentados na Tabela 03.

## RESULTADOS

Tabela 02: Média e erro-padrão das medidas de volume das simulações de RRI obtidas a partir das imagens de TCFC dos diferentes aparelhos e protocolos de voxel.

Grupo	Voxel	Volume (mm <sup>3</sup> )	
		Média	Erro-padrão
i-Cat Next Generation	0,200	11,31 <sup>Aa</sup>	1,89
	0,250	11,38 <sup>A</sup>	1,86
	0,300	7,95 <sup>B</sup>	1,67
Kodak 9000 3D	0,076	9,25 <sup>B</sup>	1,58
	0,100	9,58 <sup>B</sup>	1,62
	0,200	10,73 <sup>Aa</sup>	1,75

\*Médias seguidas de diferentes letras maiúsculas em um mesmo aparelho de TCFC e letras minúsculas diferentes em todos os aparelhos indicam diferença estatisticamente significativa para ANOVA com delineamento para blocos casualizados, complementada pelo teste de Tukey (nível de significância de 5%).

Observa-se na Tabela 02 que, entre as médias de volume das cavidades no aparelho I-Cat Next Generation, não foram encontradas diferenças estatisticamente significantes para os tamanhos de voxel 0,200 mm (11,31 mm<sup>3</sup>)

e 0,250 mm (11,38 mm<sup>3</sup>), mas ambos foram diferentes estatisticamente ( $P < 0,05$ ) do protocolo com voxel 0,300 mm (7,95mm<sup>3</sup>). Já no aparelho Kodak 9000 3D não ocorreram diferenças entre as médias dos volumes das simulações de RRI avaliadas nos tamanhos de 0,076 mm (9,25 mm<sup>3</sup>) e 0,100 mm (9,58 mm<sup>3</sup>), enquanto ambos foram estatisticamente diferentes do tamanhos de voxel 0,200 mm (10,73 mm<sup>3</sup>).

Isoladamente, avaliando o tamanho de voxel 0,200 mm, comum aos dois aparelhos de TCFC, I-Cat Next Generation (11,31 mm<sup>3</sup>) e Kodak 9000 3D (10,73 mm<sup>3</sup>), observa-se que não houve diferença estatisticamente significativa ( $P > 0,05$ ) entre as médias dos volumes das simulações de RRI.

Tabela 03: Volume em mm<sup>3</sup> das simulações de RRI dos dentes utilizados para validação, a partir das impressões em silicona de adição e das imagens de TCFC com diferentes tamanhos de voxel.

dente	Massa (g)	Densidade (g/cc)	Volume (mm <sup>3</sup> )			
			Impressão	0,200mm voxel	0,250mm voxel	0,300mm voxel
01	0,0200g	1,40g/cc	14,29	18,3	17,2	13,1
02	0,0214g		15,29	19,3	19,2	16
03	0,0165g		11,77	16,5	15	11,9
04	0,0129g		9,21	13,7	12,9	10
05	0,0094g		6,71	9,9	10,1	6,6
06	0,0064g		4,57	7,7	6,4	3,7
		Médias	10,31	14,23	13,47	10,22

A partir da Tabela 03 pode-se observar que as médias de volume das cavidades a partir das impressões com silicona de adição (10,31 mm<sup>3</sup>) foram semelhantes aos valores obtidos com imagens de TCFC com voxel 0,300 mm (10,22 mm<sup>3</sup>). Nota-se, também, que em média, estas aparecem maiores quando mensuradas a partir de imagens com voxel 0,200 mm (14,23 mm<sup>3</sup>), se

comparadas com as medidas obtidas a partir das impressões em silicóna (10,31 mm<sup>3</sup>).

## **DISCUSSÃO**

Tão importante quanto a capacidade diagnóstica dos exames por imagem, neste caso de detecção das RRI, está a influência destes na qualidade e visualização das características dessa lesão. Mesmo após o diagnóstico realizado, é a determinação do tamanho, o qual se espera que seja o mais aproximado da realidade biológica, que irá guiar a decisão do profissional quanto ao plano de tratamento. Nesse sentido, a observação do verdadeiro comprometimento de estrutura dentinária causado pela RRI é fator primordial para a tomada de decisão terapêutica, que implicará na manutenção ou não do elemento dentário. Para auxiliar a visualização de diferentes alterações, as ferramentas de reconstrução volumétrica a partir das imagens de TCFC vêm sendo amplamente utilizadas pelas diversas áreas da odontologia. O cálculo do volume de lesões serve muito mais como complemento para o planejamento a partir de um diagnóstico baseado nas imagens em reconstruções multiplanares.

Em revisão da literatura, Spin-Neto *et al.* (2012) (11) apresentaram estudos que comprovam a influência dos diferentes protocolos de aquisição de TCFC na qualidade da imagem, podendo determinar uma melhor ou pior capacidade diagnóstica dos exames. No entanto, a interferência dessa variação na aquisição das imagens em TCFC, com relação às ferramentas de cálculo de volume, ainda não foi esclarecida pelas pesquisas e, no caso das RRI, inexistente análise a respeito.

Sendo assim, este estudo busca contribuir para a literatura atual trazendo uma avaliação da influência dos fatores de aquisição da TCFC nas medições de volume de RRI, por meio de ferramenta de *software* de imagem. Para tanto foram avaliadas imagens de dois aparelhos de TCFC, um de FOV amplo (Icat Next Generation) e um de FOV restrito (Kodak 9000 3D), e em cada um foram realizados os protocolos com os tamanhos de voxel mais comumente solicitados (Tabela 01).

Em relação ao tomógrafo i-Cat Next Generation, observou-se que não ocorreram mudanças nas medidas de volume das simulações de RRI mensuradas a partir dos tamanhos de voxel 0,200 mm e 0,250 mm. Essa avaliação sugere uma equivalência entre esses protocolos em relação à imagem. Outros estudos corroboram com estes achados, com respeito às mensurações volumétricas e também à capacidade diagnóstica desses tamanhos de voxel, sugerindo uma correspondência entre eles (10,14). Esse resultado pode ser justificado em parte, pela semelhança de parâmetros de voltagem, corrente e tempo de aquisição desses protocolos. Ainda, observa-se diferença estatisticamente significativa entre os volumes mensurados a partir das imagens de tamanho de voxel 0,300 mm e os resultantes dos demais tamanhos estudados (0,200 e 0,250 mm). Nesse caso, os volumes calculados com imagens do tamanho de voxel 0,300 mm mostraram-se menores, o que, provavelmente, deve-se à diminuição de qualidade das imagens com esse maior tamanho de voxel. A literatura já aponta a influência do aumento do tamanho do voxel e a conseqüente diminuição de resolução das imagens de TCFC em relação à capacidade diagnóstica (11-15).

As imagens de TCFC com menor resolução apresentam mais artefatos de imagem e os tons de cinza são diferentes (18-20). O trabalho de Ye *et al.* (2012) (10) mensurou o volume de raízes dentárias a partir de imagens de TCFC com tamanhos de voxel diferentes e encontrou que com a utilização de um maior tamanho de voxel ocorria o aumento do volume do dente calculado pelo *software*. Os autores acreditam que possivelmente isso seja devido aos artefatos da imagem, em maior quantidade nos protocolos com maiores tamanhos de voxel, pois esse aumento não era condizente com o tamanho real do dente. Outro estudo, mensurou o volume de defeitos de reabsorção radicular externa a partir de imagens de TCFC e concluiu que o tamanho de voxel de 0,200 mm é mais acurado que o de 0,400 mm, considerando às medidas volumétricas tendo a microTC como padrão (16). No caso das simulações de RRI, avaliadas no presente estudo, o voxel 0,3 mm mostrou tendência em diminuir o volume das cavidades. A causa, possivelmente, está também relacionada com a presença maior de artefatos de imagem e a menor definição na diferenciação dos tons de cinza nos limites das simulações de RRI.

Em relação às médias dos volumes das simulações de RRI a partir das imagens do tomógrafo Kodak 9000 3D, não houve diferença entre os tamanhos de voxel 0,076 mm e 0,100 mm. Ambos são considerados protocolos de alta resolução, mas foram diferentes estatisticamente, apresentando lesões de menor volume que as mensuradas pelo voxel de 0,200 mm. Apesar de serem, em princípio, imagens de alta resolução, a literatura mostra alguns pontos negativos com a diminuição do tamanho de voxel além de 0,200 mm, como a produção de ruídos. Observa-se que o ruído reduz a visibilidade de sombras de

baixo contraste, principalmente se elas ocupam uma área pequena (21,22). Tal fato poderia justificar a mudança nas medições de volume com protocolos nestes tamanhos de voxel.

Em relação ao tamanho de FOV, comparando os dois tomógrafos, i-Cat Next Genetaron e Kodak 9000 3D, amplo e restrito, respectivamente, não ocorreu diferença estatística entre as médias de volume das simulações de RRI mensuradas pelo tamanho de voxel 0,200 mm. Assim, sugere-se que a influência na qualidade da imagem está mais ligada ao tamanho do voxel que ao do FOV. Nesse sentido, utilizando-se o mesmo protocolo de voxel, os tomógrafos de FOV restritos são os mais indicados, especialmente para visualização de pequenas áreas como na endodontia, pois aliam qualidade de imagem com menor dose de radiação para o paciente (23). Isso remete ao princípio ALARA o qual determina que a menor dose possível deva ser utilizada para um diagnóstico de qualidade.

A validação das medições de volume por meio de diversos *softwares*, a partir de imagens de TCFC, com a impressão em silicóna de adição para obtenção do volume real, já foi realizada por outros autores (6-8). Entretanto, tais investigações, utilizaram apenas uma aquisição de TCFC e, em algumas vezes, sem a especificação do tamanho de voxel utilizado. No presente estudo, observou-se que as medidas de volume realizadas pela impressão de silicóna foram mais semelhantes às medidas do tamanho de voxel de baixa resolução (0,300 mm). Em comparação com as medidas de volume das simulações de RRI pelo *software* com o uso do voxel de 0,200 mm, os volumes das impressões foram considerados menores. Os autores acreditam que a impressão com silicóna de adição possa não ter moldado com fidelidade o

tamanho real da cavidade, mas, sim, apenas o limite físico das margens. Como o método para a simulação utilizado é baseado na desmineralização ácida, diferente de todos os outros estudos com validação de medidas volumétricas, a extensão da desmineralização apresenta-se além das margens físicas, moldadas pela impressão em silicóna. A ação do ácido utilizado gera imagens com limites indefinidos, mais semelhantes à realidade clínica, pois origina uma camada de dentina com perda mineral além dos limites visíveis das simulações de RRI. Essa camada, nas imagens em TCFC se apresenta com diferenças de densidade detectadas pelo *software* provavelmente como sendo parte da RRI. Conseqüentemente, a validação com impressões em silicóna parece não ser o método mais indicado para calcular o volume de lesões provocadas com desmineralização ácida, servindo somente para estruturas ou cavidades realizadas com brocas, que apresentam limites definidos, mas não simulam a arquitetura do ambiente, gerado pelo comportamento biológico da RRI no conduto radicular.

Neste sentido, retira-se o foco principal dos valores exatos dos volumes das simulações de RRI para a alteração dessas medidas quando se utiliza diferentes protocolos para aquisição das imagens de TCFC. Em especial nos casos de acompanhamento das lesões, pois as mesmas podem parecer ter aumentado em um tipo de imagem quando, na verdade, estão estabilizadas ou, ainda, parecerem estáveis e, na realidade, terem progredido significativamente. Estas informações são importantes pois, quando já realizado o diagnóstico, são elas que irão determinar o plano de tratamento e a decisão do profissional quanto à condução do caso.

## **CONCLUSÃO**

Frente aos resultados deste estudo pode-se concluir que protocolos com diferentes tamanhos de voxel, independentemente do FOV, influenciam nas medidas de volume de RRI simuladas. Por esse motivo, ressalta-se a importância da padronização na aquisição de imagens de TCFC, especialmente nos casos de acompanhamento de reabsorções radiculares internas, evitando-se, assim, erros de interpretação quanto à extensão das lesões que poderiam influenciar na tomada de decisão clínica.

## REFERÊNCIAS

- 1 - Fuss Z, Tsesis I, Lin S. Root resorption--diagnosis, classification and treatment choices based on stimulation factors. *Dent Traumatol* 2003;19:175-182.
- 2- Kamburoglu K, Kursun S. A comparison of the diagnostic accuracy of CBCT images of different voxel resolutions used to detect simulated small internal resorption cavities. *Int Endod J* 2010;43:798-807.
- 3 - Kamburoglu K, Kursun S, Yuksel S, Oztas B. Observer ability to detect ex vivo simulated internal or external cervical root resorption. *J Endod* 2011;37:168-175.
- 4 - Kim ES, Moon SY, Kim SG, Park HC, Oh JS. Three-Dimensional Volumetric Analysis After Sinus Grafts. *Implant Dent* 2013;22:170–174.
- 5 - Stoetzer M, Nickel F, Rana M, Lemound J, Wenzel D, von See C, Gellrich NC. Advances in assessing the volume of odontogenic cysts and tumors in the mandible: a retrospective clinical trial. *Head Face Med* 2013; 9:14.
- 6 - Ahlowalia MS, Patel S, Anwar HMS, Cama G, Austin RS, Wilson R, Mannocci F. Accuracy of CBCT for volumetric measurement of simulated periapical lesions. *Int Endod J* 2013; 46: 538–546.
- 7 - Esposito SA, Huybrechts B, Slagmolen P, Cotti E, Coucke W, Pauwels R, Lambrechts P, Jacobs R. A Novel Method to Estimate the Volume of Bone Defects Using Cone-Beam Computed Tomography: An In Vitro Study. *J Endod* 2013; *in press*.

8 - Ghoneima A and Kula K. Accuracy and reliability of cone-beam computed tomography for airway volume analysis. *Eur J Orthod* 2013;35: 256-261.

9 - Sherrard JF, Rossouw E, Benson BW, Carrillo R, Buschange PH. Accuracy and reliability of tooth and root lengths measured on cone-beam computed tomographs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137:S100-108.

10 - Ye N, Jian F, Xue J, Wang S, Liao L, Huang W, Yang X, Zhou Y, Lai W, Li J, Wang J. Accuracy of in-vitro tooth volumetric measurements from cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012;142:879-887.

11 - Spin-Neto R, Gotfredsen E, Wenzel A. Impact of Voxel Size Variation on CBCT-Based Diagnostic Outcome in Dentistry: a Systematic Review. *J Digit Imaging* 2012; DOI 10.1007/s10278-012-9562-7.

12 - Liedke GS, da Silveira HE, da Silveira HL, Dutra V, de Figueiredo JA. Influence of voxel size in the diagnostic ability of cone beam tomography to evaluate simulated external root resorption. *J Endod* 2009;35:233-235.

13 - da Silveira PF, Vizzotto MB, Liedke GS, da Silveira HL, Montagner F, da Silveira HE. Detection of vertical root fractures by conventional radiographic examination and cone beam computed tomography - an in vitro analysis. *Dental Traumatol* 2013;29:41-46.

14- Vizzotto MB, Silveira PF, Arús NA, Montagner F, Gomes, BPF, Silveira, HED. CBCT for the assessment of second mesiobuccal (MB2) canals in maxillary molar teeth: effect of voxel size and presence of root filling. *Int Endod J* 2013; DOI: 10.1111/iej.12075 (*in press*).

15 - Neves FS, Freitas DQ, Campos PSF, de Almeida SM, Haiter-Neto F. *In vitro* comparison of cone beam computed tomography with different voxel sizes for detection of simulated external root resorption. J Oral Sci 2012;54:219-225.

16 - Ponder SN, Benavides E, Kapila S, Hatchd NE. Quantification of external root resorption by low- vs high-resolution cone-beam computed tomography and periapical radiography: A volumetric and linear analysis. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2013;143:77-91.

17 – Silveira PF, Vizzotto MB, Montagner F, Silveira HLD, Silveira HED. Development of a new *in vitro* methodology to simulate internal root resorption. J Endod 2013. DOI 10.1016/j.joen.2013.07.007 (*in press*).

18 - Katsumata, A. Hirukawa A, Okumura S, Naitoh M, Fujishita M, Arijii E, Langlais RP. Effects of image artifacts on gray-value density in limited-volume cone-beam computerized tomogra-phy. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. Oral Radiol. Endod. 2007;104:829-836.

19 - Schulze, R. Heil U, Gross D, Bruellmann DD, Dranischnikow E, Schwanecke U, Schoemer E. Artifacts in CBCT: A review. Dentomaxillofac Radiol. 2011; 40:265-273.

20 - Azeredo F, Menezes LM, Enciso R, Weissheimer A, Oliveira RB. Computed gray levels in multislice and cone-beam computed tomography. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2013;144:147-155.

21 - Costa FF, Gaia BF, Umetsubo OS, Pinheiro LR, Tortamano IP, Cavalcanti MGP. Use of Large-volume Cone-Beam Computed Tomography in Identification

and Localization of Horizontal Root Fracture in the Presence and Absence of Intracanal Metallic Post. *J Endod* 2012;38:856–859.

22 - Tanimoto H, Arai Y. The effect of voxel size on image reconstruction in cone-beam computed tomography. *Oral Radiol* 2009;25:149–53.

23 - Scarfe WC, Li Z, Aboelmaaty W, Scott SA, Farman AG. Maxillofacial cone beam computed tomography: essence, elements and steps to interpretation. *Aust Dent J* 2012; 57:(1 Suppl):46–60.

## **Considerações Finais**

---

A metodologia desenvolvida para a simulação de RRI, descrita no primeiro artigo desta dissertação, poderá contribuir com futuros trabalhos de pesquisa que envolvam investigações com uso de exames por imagem, pois o emprego da desmineralização ácida cria cavidades com características mais semelhantes às das RRI *in vivo*. Assim, novos resultados para acurácia dos exames de imagem poderão ser estabelecidos.

Muitos estudos vêm sendo realizados para estabelecer protocolos mais adequados na aquisição de imagens por TCFC. Este trabalho demonstrou a influência de diferentes protocolos nos resultados das mensurações de volume de simulações de RRI. Dessa forma, a falta de padronização nos protocolos de aquisição das imagens por TCFC pode gerar entendimentos equivocados quanto à extensão do envolvimento dos tecidos dentários em reabsorções radiculares internas.

## Referências

---

1. Fuss Z, Tsesis I, Lin S. Root resorption--diagnosis, classification and treatment choices based on stimulation factors. *Dental Traumatol*, v.19, n.4, p.175-182, 2003.
2. Gunraj MN. Dental root resorption. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol. Oral Radiol. Endod*, v.88, n.6, p.647-653, 1999.
3. Patel S, Ricucci D, Durak C, Tay F. Internal root resorption: a review. *J Endod*, v.36, n.7, p.1107-1121, 2010.
4. Wang Z, McCauley LK. Osteoclasts and odontoclasts: signaling pathways to development and disease. *Oral Dis*, v.17, n.2, p.129-142, 2011.
5. Vier FV, Figueiredo JA. Internal apical resorption and its correlation with the type of apical lesion. *Int Endod J*, v.37, n.11, p.730-737, 2004.
6. Gabor C, Tam E, Shen Y, Haapasalo M. Prevalence of internal inflammatory root resorption. *J Endod*, v.38, n.1, p.24-27, 2012.
7. Kamburoglu K, Barenboim SF, Kaffe I. Comparison of conventional film with different digital and digitally filtered images in the detection of simulated internal resorption cavities--an ex vivo study in human cadaver jaws. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol. Oral Radiol. Endod*, v.105, n.6, p.790-797, 2008.
8. Stephanopoulos G, Mikrogeorgis G, Lyroudia K. Assessment of simulated internal resorption cavities using digital and digital subtraction

radiography: a comparative study. *Dental Traumatol*, v.27, n.5, p.344-349, 2011.

9. Ono E, Medici Filho E, Faig Leite H, Tanaka JL, De Moraes ME, De Melo Castilho JC. Evaluation of simulated external root resorptions with digital radiography and digital subtraction radiography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, v.139, n.3, p.324-333, 2011.

10. Tewary S, Luzzo J, Hartwell G. Endodontic radiography: who is reading the digital radiograph? *J Endod*, v.37, n.7, p.919-921, 2011.

11.. Patel S. New dimensions in endodontic imaging: Part 2. Cone beam computed tomography. *Int Endod J*, v.42, n.6, p.463-475, 2009.

12. Durack C, Patel S, Davies J, Wilson R, Mannocci F. Diagnostic accuracy of small volume cone beam computed tomography and intraoral periapical radiography for the detection of simulated external inflammatory root resorption. *Int Endod J*, v.44, n.2, p.136-147, 2011.

13. D'Addazio PS, Campos CN, Ozcan M, Teixeira HG, Passoni RM, Carvalho AC. A comparative study between cone-beam computed tomography and periapical radiographs in the diagnosis of simulated endodontic complications. *Int Endod J*, v.44, n.3, p.218-224, 2011.

14. Bernardes RA, de Paulo RS, Pereira LO, Duarte MA, Ordinola-Zapata R, de Azevedo JR. Comparative study of cone beam computed tomography and intraoral periapical radiographs in diagnosis of lingual-simulated external root resorptions. *Dent Traumatol*, v.28, n.4, p.268-272, 2012.

15. Kamburoglu K, Kursun S, Yuksel S, Oztas B. Observer ability to detect ex vivo simulated internal or external cervical root resorption. *J Endod*, v.37, n.2, p.168-175, 2011.
16. Mah JK, Danforth RA, Bumann A, Hatcher D. Radiation absorbed in maxillofacial imaging with a new dental computed tomography device. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol. Oral Radiol. Endod*, v.96, n.4, p.508-513, 2003.
17. Holberg C, Steinhauser S, Geis P, Rudzki-Janson I. Cone-beam computed tomography in orthodontics: benefits and limitations. *J Orofac Orthop*, v.66, n.6, p.434-444, 2005.
18. Tsiklakis K, Donta C, Gavala S, Karayianni K, Kamenopoulou V, Hourdakos CJ. Dose reduction in maxillofacial imaging using low dose Cone Beam CT. *Eur J Radiol*, v.56, n.3, p.413-417, 2005.
19. Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc*, v.72, n.1, p.75-80, 2006.
20. Swennen GR, Schutyser F, Barth EL, De Groeve P, De Mey A. A new method of 3-D cephalometry Part I: the anatomic Cartesian 3-D reference system. *J Craniofac Surg*, v.17, n.2, p.314-325, 2006.
21. Scarfe WC, Levin MD, Gane D, Farman AG. Use of cone beam computed tomography in endodontics. *Int J Dent*, DOI 10.1155/2009/634567, 2009.

22. Cotton TP, Geisler TM, Holden DT, Schwartz SA, Schindler WG. Endodontic applications of cone-beam volumetric tomography. *J Endod*, v.33, n.9, p.1121-1132, 2007.
23. Patel S, Dawood A, Ford TP, Whaites E. The potential applications of cone beam computed tomography in the management of endodontic problems. *Int Endod J*, v.40, n.10, p.818-830, 2007.
24. Liedke GS, da Silveira HE, da Silveira HL, Dutra V, de Figueiredo JA. Influence of voxel size in the diagnostic ability of cone beam tomography to evaluate simulated external root resorption. *J Endod*, v.35, n.2, p.233-235, 2009.
25. Shemesh H, Cristescu RC, Wesselink PR, Wu MK. The use of cone-beam computed tomography and digital periapical radiographs to diagnose root perforations. *J Endod*, v.37, n.4, p.513-516, 2011.
26. Tyndall DA, Kohltfarber H. Application of cone beam volumetric tomography in endodontics. *Aust Dent J*, v.57, n.Suppl 1, p.72-81, 2012.
27. da Silveira PF, Vizzotto MB, Liedke GS, da Silveira HL, Montagner F, da Silveira HE. Detection of vertical root fractures by conventional radiographic examination and cone beam computed tomography - an in vitro analysis. *Dental Traumatol*, v.29, n.1, p.41-46, 2013.
28. Andreasen FM, Sewerin I, Mandel U, Andreasen JO. Radiographic assessment of simulated root resorption cavities. *Endod Dent Traumatol*, v.3, n.1, p.21-27, 1987.

29. Hintze H, Wenzel A, Andreasen FM, Swerin I. Digital subtraction radiography for assessment of simulated root resorption cavities. Performance of conventional and reverse contrast modes. *Endod Dent Traumatol*, v.8, n.4, p.149-154, 1992.
30. Goldberg F, De Silvio A, Dreyer C. Radiographic assessment of simulated external root resorption cavities in maxillary incisors. *Endod Dent Traumatol*, v.14, n.3, p.133-136, 1998.
31. da Silveira HL, Silveira HE, Liedke GS, Lermen CA, Dos Santos RB, de Figueiredo JA. Diagnostic ability of computed tomography to evaluate external root resorption in vitro. *Dentomaxillofac Radiol*, v.6, n.7, p.393-396, 2007.
32. Lermen CA, Liedke GS, da Silveira HE, da Silveira HL, Mazzola AA, de Figueiredo JA. Comparison between two tomographic sections in the diagnosis of external root resorption. *J Appl Oral Sci*, v.18, n.3, p.303-307, 2010.
33. Chapnick L. External root resorption: an experimental radiographic evaluation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, v.67, n.5, p.578-582, 1989.
34. Kamburoglu K, Kursun S. A comparison of the diagnostic accuracy of CBCT images of different voxel resolutions used to detect simulated small internal resorption cavities. *Imaging Sci Dent*, v.43, n.9, p.798-807, 2010.
35. Dalili Z, Taramsari M, Mousavi Mehr SZ, Salamat F. Diagnostic value of two modes of cone-beam computed tomography in evaluation of simulated external root resorption: an in vitro study. *Imaging Sci Dent*, v.42, n.1, p.19-24, 2012.

36. Ren H, Chen J, Deng F, Zheng L, Liu X, Dong Y. Comparison of cone-beam computed tomography and periapical radiography for detecting simulated apical root resorption. *Angle Orthod*, v.83, n.2, p.189-195, 2013.
37. Kim ES, Moon SY, Kim SG, Park HC, Oh JS. Three-Dimensional Volumetric Analysis After Sinus Grafts. *Implant Dent*, v.22, n.2, p.170–174, 2013.
38. Stoetzer M, Nickel F, Rana M, Lemound J, Wenzel D, von See C, Gellrich NC. Advances in assessing the volume of odontogenic cysts and tumors in the mandible: a retrospective clinical trial. *Head Face Med*, 9.14, 2013.
39. Ahlowalia MS, Patel S, Anwar HMS, Cama G, Austin RS, Wilson R, Mannocci F. Accuracy of CBCT for volumetric measurement of simulated periapical lesions. *Int Endod J*, v.46, n.6, p.538–546, 2013.
40. Esposito SA, Huybrechts B, Slagmolen P, Cotti E, Coucke W, Pauwels R, Lambrechts P, Jacobs R. A Novel Method to Estimate the Volume of Bone Defects Using Cone-Beam Computed Tomography: An In Vitro Study. *J Endod*, (in press), 2013.
41. Ghoneima A and Kula K. Accuracy and reliability of cone-beam computed tomography for airway volume analysis. *Eur J Orthod*, v.35, n.2, p.256-261, 2013.
42. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL, Howerton WB. Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CB Mercuray, NewTom 3G and i-CAT. *Dentomaxillofac Radiol*, v.35, n.4, p.219-226, 2006.

43. Sherrard JF, Rossouw E, Benson BW, Carrillo R, Buschange PH. Accuracy and reliability of tooth and root lengths measured on cone-beam computed tomographs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, v.137, n.4 Suppl:S100-8, 2010.
44. Ye N, Jian F, Xue J, Wang S, Liao L, Huang W, Yang X, Zhou Y, Lai W, Li J, Wang J. Accuracy of in-vitro tooth volumetric measurements from cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, v.142, n.6, p.879-887, 2012.
45. Spin-Neto R, Gotfredsen E, Wenzel A. Impact of Voxel Size Variation on CBCT-Based Diagnostic Outcome in Dentistry: a Systematic Review. *J Digit Imaging*; DOI 10.1007/s10278-012-9562-7 (*in press*), 2012.
46. Vizzotto MB, Silveira PF, Arús NA, Montagner F, Gomes, BPFA, Silveira, HED. CBCT for the assessment of second mesiobuccal (MB2) canals in maxillary molar teeth: effect of voxel size and presence of root filling. *Int Endod J*, DOI: 10.1111/iej.12075 (*in press*), 2013.
47. Neves FS, Freitas DQ, Campos PSF, de Almeida SM, Haiter-Neto F. *In vitro* comparison of cone beam computed tomography with different voxel sizes for detection of simulated external root resorption. *J Oral Sci*, v.54, n.3, p.219-225, 2012.

## Anexo 1

---

Aprovação na Comissão de Pesquisa da FO-UFRGS.

### Sistema Pesquisa - Pesquisador: Heloisa Emilia Dias Da Silveira

**Projeto Nº:** 23378

**Título:** ESTUDO DAS REABSORCOES RADICULARES IN VITRO: METODOLOGIA PARA SIMULACAO E INVESTIGACAO DIAGNOSTICA COM DIFERENTES EXAMES POR IMAGEM

COMISSAO DE PESQUISA DE ODONTOLOGIA: Parecer

Este estudo tem como objetivos testar e validar uma metodologia de simulação de reabsorções radiculares, externas e internas, para estudos in vitro. Avaliar a capacidade diagnóstica da radiografia digital e da tomografia computadorizada de feixe cônico na detecção destas reabsorções. Serão utilizados 12 dentes monorradiculares para a validação da metodologia e 40 para a avaliação do desempenho das imagens. Todos os dentes serão seccionados longitudinalmente, no sentido mesio-distal, sendo os fragmentos homólogos reposicionados e colocados em alvéolos de mandíbula seca, pré e pós simulações, para a aquisição das imagens. As simulações das reabsorções serão realizadas com ácido nítrico 5%, com ação restrita e controlada. A avaliação do novo método das simulações se fará por acompanhamento diário da ação do ácido por microscopia eletrônica de varredura em um período de 11 dias. As características morfológicas das lesões serão correlacionadas com as imagens tomográficas e radiográficas e os dados serão apresentados de forma descritiva. Para avaliar o desempenho das imagens tomográficas e radiográficas, reabsorções serão produzidas aleatoriamente a partir de sorteio, nos terços radiculares cervical, médio ou apical. As imagens estarão distribuídas de forma randomizada. Os dentes humanos a serem utilizados serão obtidos da amostra de um estudo previamente aprovado nos seus aspectos éticos pelo CEP da UFRGS. O projeto encontra-se adequadamente delineado e descrito.