

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-graduação em Odontologia

Flávia Rodrigues Caetano Batista de Paiva

**ACURÁCIA DE EXAMES RADIOGRÁFICOS E TOMOGRÁFICOS NA DETECÇÃO
DE TRINCAS RADICULARES EM DENTES ANTERIORES**

Belo Horizonte

2018

Flávia Rodrigues Caetano Batista de Paiva

**ACURÁCIA DE EXAMES RADIOGRÁFICOS E TOMOGRÁFICOS NA DETECÇÃO
DE TRINCAS RADICULARES EM DENTES ANTERIORES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Odontologia, Área de Concentração: Clínicas Odontológicas, Área Temática: Estomatologia.

Linha de Pesquisa: Métodos de diagnóstico por imagem, radiobiologia e radioproteção.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Alencar de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Flávio Ricardo Manzi

Belo Horizonte

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

- P149a Paiva, Flávia Rodrigues Caetano Batista de
Acurácia de exames radiográficos e tomográficos na detecção de trincas radiculares em dentes anteriores / Flávia Rodrigues Caetano Batista de Paiva. Belo Horizonte, 2018.
59 f. : il.
- Orientador: Paulo Eduardo Alencar de Souza
Coorientador: Flávio Ricardo Manzi
Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Odontologia
1. Incisivos (Dentes) - Diagnóstico. 2. Tomografia computadorizada por raios. 3. Fraturas ósseas. 4. Precisão da Medição Dimensional. 5 Radiografia Dentária Digital. 6. Traumatismos dentários. I. Souza, Paulo Eduardo Alencar de. II. Manzi, Flávio Ricardo. III. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Odontologia. IV. Título.

CDU: 616.314-001.5

Ficha catalográfica elaborada por Fernanda Paim Brito - CRB 6/2999

Flávia Rodrigues Caetano Batista de Paiva

ACURÁCIA DE EXAMES RADIOGRÁFICOS E TOMOGRÁFICOS NA DETECÇÃO DE TRINCAS RADICULARES EM DENTES ANTERIORES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Odontologia. Área de Concentração: Clínicas Odontológicas – Área Temática: Estomatologia.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA:

- 1- Profa. Dra. Roselaine Moreira Coelho Milagres – UFMG
- 2- Prof. Dr. Amaro Ilídio Vespasiano Silva – PUC Minas
- 3- Prof. Dr. Paulo Eduardo Alencar de Souza – PUC Minas

DATA DA APRESENTAÇÃO E DEFESA: 21 de março de 2018

A dissertação, nesta identificada, foi aprovada pela Banca Examinadora

Prof. Dr. Paulo Eduardo Alencar de Souza
Orientador

Prof. Dr. Rodrigo Villamarim Soares
Coordenador do Programa de Pós-graduação em Odontologia

*Dedico este trabalho inteiramente a Deus,
por ser essencial em minha vida,
autor de meu destino, meu guia,
socorro presente na hora da angústia.*

AGRADECIMENTOS

À minha família, por sua capacidade de acreditar e investir em mim.

Mamãe, seu cuidado e dedicação deram, em alguns momentos, a esperança para seguir. Papai, sua presença significou segurança e certeza de que nunca estarei sozinha em nenhuma caminhada.

Às minhas amadas filhas Dudu e Juju pelo apoio incondicional, pela conduta durante minhas ausências e paciência pelo meu nervosismo.

Ao meu esposo Júlio pela confiança.

Ao Professor Dr. Paulo Eduardo Alencar que me mostrou novos rumos, guiou-me com mão segura pelos tortuosos caminhos da verdadeira ciência, aplicou com toda sapiência os mais rigorosos padrões da pesquisa acadêmica para que o resultado fosse o melhor possível.

Aos professores Flávio Ricardo Manzi e Amaro Vespasiano Silva e à doutoranda Cláudia Assunção pela orientação e apoio na realização do trabalho.

Ao Prof. Dr. Martinho Campolina Horta, pelas análises estatísticas primorosas.

A todos os professores do curso, que foram tão importantes na minha vida acadêmica e no desenvolvimento desta dissertação

À Mestre Erika Storck, companheira de pesquisa, sempre gentil, amiga e presente.

À graduanda Giovanna Lanza pelo auxílio na execução nas atividades da pesquisa.

À equipe da Clínica Radius Odonto pela disponibilidade e infraestrutura.

Ao Laboratório de Botânica do Departamento de Ciências Biológicas do ICBS/PUC Minas pela infraestrutura disponibilizada na realização das imagens.

Aos professores e funcionárias da Clínica de Radiologia do Departamento de Odontologia da PUC Minas pelo apoio na realização das radiografias.

Às Secretárias Angélica e Silvania pelo apoio e olhar carinhoso.

À Zoraide Mol pela amizade, carinho e disponibilidade.

“Cada um de nós compõe a sua história. Cada ser em si. Carrega o dom de ser capaz. E ser feliz. É preciso amor pra poder pulsar. É preciso paz pra poder sorrir. É preciso a chuva para florir.” (ALMIR SATER/ RENATO TEIXEIRA).

RESUMO

A identificação de trincas dentárias radiculares consiste em um desafio na prática odontológica, exigindo correlação entre características clínicas e imaginológicas. A existência de trincas interfere no tratamento e prognóstico do dente acometido. O objetivo deste trabalho foi avaliar a acurácia de diferentes métodos de diagnóstico por imagem na detecção de trincas radiculares em dentes anteriores superiores extraídos. Para isso, dezoito dentes exibindo trincas radiculares e dezoito dentes sem trincas foram selecionados por meio de visualização direta das trincas em lupa estereoscópica e por meio de transiluminação. Os dentes foram posicionados em alvéolo de maxila humana seca e submetidos a exames radiográficos periapicais convencional e digitais e tomografia computadorizada de feixes cônicos (TCFC). Em seguida, para verificar se a presença de artefato metálico influenciaria a detecção das trincas pela TCFC, um dente com núcleo metálico foi posicionado ao lado do dente a ser avaliado e novas imagens de TCFC foram obtidas. Os diagnósticos radiculares, bem como o grau de dificuldade na avaliação das imagens, foram determinados por um examinador. Não foi detectada trinca em nenhum exame radiográfico, independentemente da técnica utilizada. Embora trincas tenham sido diagnosticadas por meio da TCFC, a sensibilidade, especificidade e acurácia deste método foram baixas, independentemente da presença de artefato. Comparando-se o grau de dificuldade na avaliação das imagens, a detecção das trincas nos exames de TCFC foi considerada mais fácil quando comparada aos exames radiográficos. A presença do artefato não afetou significativamente o grau de dificuldade. Nossos dados indicam que radiografias periapicais convencional e digital e TCFC não são métodos acurados de detecção de trincas radiculares com extensões e profundidades e localizações variadas.

Palavras-chave: Fratura dentária. Diagnóstico. Radiografia. Tomografia computadorizada por raios X. Acurácia dos dados.

ABSTRACT

The identification of radicular cracks is a challenge in dental practice, requiring a correlation between clinical and imaging characteristics. The existence of cracks interferes in the treatment and prognosis of the affected tooth. The aim of this study was to evaluate the accuracy of different diagnostic imaging methods in the detection of root crack in upper anterior teeth extracted. For this, eighteen teeth presenting radicular cracks and eighteen without cracks were selected by means of direct visualization of the cracks in a stereoscopic loupe and by means of transillumination. The teeth were positioned in a dry human maxilla and submitted to conventional or digital periapical radiography, and Cone Beam Computed Tomography (CBCT). After that, to verify if the presence of metallic artifact would affect the detection of cracks by CBCT, another tooth with metallic post was positioned next to the tooth to be evaluated and new CBCT images were acquired. An examiner determined the diagnosis of root crack, as well as the degree of difficulty in evaluating the images. No crack was detected in any radiographic examination, regardless of the technique used. Although cracks were diagnosed using CBCT, the sensitivity, specificity and accuracy of this method were low, regardless of the presence of artifact. Comparing the degree of difficulty in the evaluation of the images, the detection of cracks in the CBCT examinations was considered easier when compared to the radiographic examinations. The presence of the artifact did not significantly affect the degree of difficulty. In conclusion, our data indicate that conventional and digital periapical radiographs and CBCT are not accurate methods of detecting root cracks showing different length and deep.

Keywords: Dental fracture. Diagnosis. Radiography. Computed tomography. Data Accuracy.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Trincas e fraturas radiculares	18
1.2 Classificação das trincas e fraturas radiculares	21
1.3 Implicações clínicas das trincas e fraturas radiculares.....	22
1.4 Métodos diagnósticos de trincas e fraturas radiculares	24
2 OBJETIVOS.....	27
2.1 Objetivo geral	27
2.2 Objetivos específicos.....	27
3 ARTIGO	29
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
REFERÊNCIAS.....	55
ANEXO A – Folha de aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da PUC Minas	59

1 INTRODUÇÃO

O aprimoramento e o aumento da acessibilidade aos exames imaginológicos representou um avanço nas áreas de diagnóstico, planejamento e tratamento, abrindo uma nova perspectiva para a Odontologia. A instituição de uma terapia adequada depende não somente, mas também, da visualização adequada de defeitos e/ou alterações anatômicas (WANG et al., 2017).

Forças oclusais e traumatismos podem gerar danos aos tecidos mineralizados dos dentes, como trincas e fraturas, com consequências aos tecidos moles adjacentes. Trincas consistem em um plano de fratura incompleta que pode se iniciar na coroa e se estender a região subgengival, normalmente com direção méso-distal. Sua presença pode ser assintomática ou pode estar associada à dor durante a mastigação, podendo levar ao desenvolvimento de lesões pulpares e reabsorções no osso alveolar (AMERICAN ASSOCIATION OF ENDODONTISTS, 1997). Já a fratura propriamente dita consiste na separação completa de fragmentos dentários e pode ter direção variável. Dependendo da sua direção e extensão pode levar à perda do dente (LYNCH; McCONNELL, 2002).

O diagnóstico das trincas e fraturas baseia-se na presença de sintomas que incluem dor durante a mastigação e sob pressão e sensibilidade aos estímulos térmicos, especialmente ao frio. Adicionalmente, métodos como radiografias periapicais e interproximais, sondagem periodontal, transiluminação e exame sob microscopia tem sido utilizados como ferramentas de diagnóstico (WANG et al., 2017). Entretanto, estes exames possuem acurácia limitada e podem ser inconclusivos. Nas radiografias, por exemplo, há a sobreposição de imagens, dificultando a visualização de estruturas e alterações anatômicas (HASAN; SINGH; SALATI, 2015).

A utilização crescente da tomografia computadorizada nas diferentes áreas da Odontologia permite a aquisição de imagens de alta resolução, possibilitando a observação das trincas e fraturas (ELSATANI; FARID; ELDIN ASHMAWY, 2016; MAKEEVA et al., 2016; WANG et al., 2017).

Considerando a menor dimensão das trincas, o objetivo deste estudo foi determinar a sensibilidade, especificidade e acurácia de radiografias periapicais convencional e digitais e de tomografia computadorizada de feixes cônicos para detecção de trincas radiculares em dentes anteriores extraídos.

1.1 Trincas e fraturas radiculares

Trincas são fraturas incompletas, geralmente no sentido longitudinal, que se iniciam na coroa e podem se estender subgengivalmente à raiz do dente (AMERICAN ASSOCIATION OF ENDODONTISTS, 1997; HILTON et al., 2007; LUBISICH et al., 2010). Ellis (2001) acrescenta que as trincas podem progredir continuamente e comunicar-se com a polpa e o ligamento periodontal. Elas são mais comuns em dentes restaurados e tratados endodonticamente e em indivíduos acima de 40 anos de idade. A partir desta faixa etária há uma maior desidratação da dentina, o que contribui para a diminuição da sua resistência à fadiga sob carga oclusal, levando ao surgimento das trincas. Com relação ao gênero, os estudos não têm apresentado diferenças significativas quanto à ocorrência de trincas entre homens e mulheres (AMERICAN ASSOCIATION OF ENDODONTISTS, 1997). As trincas radiculares constituem problemas de incidência relativamente grande na população, apesar do diagnóstico difícil de ser realizado em muitos casos (KANG et al., 2016). Dados de diversos estudos indicam que as trincas são mais frequentes em molares e pré-molares (CAMERON, 1976; KANG; KIM; KIM, 2016; LEE, 2006; ROH; HIATT, 1973).

Diferentes fatores podem predispor ao surgimento de trincas. Dentre eles destacam-se a inclinação lingual dos dentes, bruxismo cêntrico e excêntrico, utilização de instrumentos rotatórios no preparo de cavidades e/ou canais radiculares, presença de retentores intra-radicares, além da largura e profundidade dos preparos endodônticos. É importante salientar que a combinação de dois ou mais fatores de risco aumentam ainda mais as chances de desenvolvimento de trincas (CAMERON, 1976; ZUCKERMAN, 1998).

Os sintomas relacionados à presença de trincas são diversos e estão associados à sua profundidade. Quando a trinca ocorre somente no esmalte ou na camada de dentina mais superficial ela é assintomática, enquanto desconforto ou dor durante a mastigação e sensibilidade térmica, especialmente ao frio e ao doce, ocorrem em trincas mais profundas. Além disso, profundidade de sondagem aumentada no dente envolvido pode estar associada (AMERICAN ASSOCIATION OF ENDODONTISTS, 1997). Özer (2010) e Shin e Kim (2012) relataram que o diagnóstico precoce de trincas é o fator chave para o sucesso do plano de tratamento e prognóstico do dente envolvido.

Fraturas radiculares constituem um tipo de dano dental cujo prognóstico pode ser desfavorável dependendo da sua extensão e direção (horizontal ou vertical). As fraturas radiculares verticais representam um desafio diagnóstico para o clínico (LYNCH; McCONNELL, 2002; TÜRPE; GOBETTI, 1996).

Este tipo de lesão é mais comum em dentes tratados endodonticamente e geralmente apresenta uma direção vestibulo-lingual, propagando-se coronalmente. A colocação de pinos intrarradiculares e a pressão exercida durante a obturação dos canais radiculares são consideradas as principais causas para a sua ocorrência (RIVERA; WALTON, 2007).

A prevalência de fraturas radiculares varia enormemente na literatura. Alguns autores reportam uma prevalência de 4,4% (CHRYSTANTHAKOPOULOS, 2011), enquanto outros encontraram uma prevalência de 10,6% em dentes extraídos (AIDA et al., 2006). Yoshino et al. (2015) encontraram uma prevalência de 31,7%. Apesar da ocorrência de fraturas radiculares ser relatada tanto em dentes tratados como em dentes não tratados endodonticamente, a maioria dos casos é encontrada em dentes tratados endodonticamente, com ou sem a presença de pinos intrarradiculares (LIAO et al., 2017). Molares inferiores e pré-molares superiores são os dentes com maior incidência de fraturas (LARSON, 2014; LIAO et al., 2017; PRADEEPKUMAR et al., 2016). Com relação ao gênero, estudos tem indicado uma maior ocorrência de fraturas em mulheres quando comparadas aos homens (LIAO et al., 2017; MATSUDA et al., 2011).

As fraturas radiculares podem envolver ambas as superfícies proximais ou somente uma superfície. Exames radiográficos devem ser realizados para determinar esta informação. Radiograficamente, na maioria dos casos, reabsorção óssea angular na área cervical pode ser observada. Uma área radiolúcida em forma de “J” estendendo-se do ápice até a superfície lateral da raiz também ocorre (TAMSE, 2006).

As radiografias periapicais são o tipo de exame mais utilizado para a detecção de fraturas. Todavia, o feixe de raios X deve estar no mesmo ângulo da fratura para que ela seja visível. Alguns autores sugerem que incidências radiográficas em diferentes ângulos sejam feitas para a visualização da fratura (LYNCH; McCONNELL, 2002; TÜRPE; GOBETTI, 1996). Todavia, é importante ressaltar que a acurácia deste método diagnóstico para as fraturas radiculares tem sido questionada atualmente. A detecção precoce deste tipo de lesão é importante a fim de se evitar

tratamentos que não trazem benefícios ao dente e reduzir a perda óssea decorrente da fratura (MIKROGEORGIS et al., 2017).

Mikrogeorgis et al. (2017) realizaram relato de casos onde observaram a presença de fraturas radiculares utilizando radiografia digital de subtração. Em todos os casos, após a subtração das imagens a linha de fratura tornou-se mais visível. Os autores concluíram que, nos casos estudados, a radiografia digital de subtração é uma excelente ferramenta para a detecção de fraturas verticais radiculares em dentes tratados endodonticamente.

Nos últimos anos, exames de tomografia computadorizada cone beam (TCCB) têm sido realizados para detectar fraturas radiculares (ELSALTANI; FARID; ELDIN ASHMAWY, 2016; SALINEIRO et al., 2017; TALWAR et al., 2016). Eles permitem a aquisição de imagens tridimensionais, sem a superposição de estruturas anatômicas. Entretanto, uma desvantagem deste tipo de exame é o surgimento de artefatos gerados pela presença de objetos metálicos tais como pinos intra-radulares (COSTA et al., 2014).

Dutra et al. (2017) realizaram uma pesquisa com o objetivo de verificar a acurácia da TCCB na detecção de fraturas radiculares. Em trinta dentes extraídos divididos em quatro grupos (sem obturação endodôntica, dentes tratados endodonticamente e canais obturados com guta-percha, dentes com pinos intra-radulares de ouro e dentes com coroas metálicas) foram induzidas mecanicamente fraturas radiculares. Posteriormente, imagens destes dentes em TCCB foram obtidas para se verificar as fraturas. Nos dentes não tratados endodonticamente o trajeto da fratura pode ser observado nas TCCB. Já nos dentes preenchidos com guta-percha a observação da fratura foi dificultada devido à geração de artefatos enquanto nos dentes com pinos intra-radulares a fratura só pôde ser observada quando envolvia o terço apical da raiz. As coroas metálicas não geraram artefatos nas imagens.

Os sintomas relacionados à fratura radicular são dor à percussão, presença de mobilidade e sangramento gengival. Nos exames radiográficos, uma linha radiolúcida separando a raiz em dois fragmentos pode ser observada. Já o prognóstico e tratamento dependem da localização e gravidade da fratura (KANG; KIM; KIM, 2016; YOSHINO et al., 2015). Alguns autores sugerem realizar redução da fratura e contenção flexível por quatro semanas. Se ocorrer necrose pulpar o tratamento endodôntico deve ser realizado. Em alguns casos, a exodontia é recomendada (AMERICAN ASSOCIATION OF ENDODONTISTS, 1997).

1.2 Classificação das trincas e fraturas radiculares

Diversas classificações têm sido propostas na literatura para categorizar trincas e fraturas radiculares. Fraturas incompletas foram descritas por Gibbs (1954) e Ritchey, Mendenhall e Orban (1957). Cameron (1964) denominou as fraturas incompletas de dentes vitais posteriores, envolvendo ou não a polpa, de síndrome do dente trincado.

Talim e Gohil (1974) elaboraram uma classificação baseada na direção e localização da fratura radicular. Nesta classificação as fraturas radiculares são categorizadas como fraturas classe IV, podendo ser vertical ou oblíqua (envolvendo ou não a polpa) ou horizontal (envolvendo o terço cervical, médio ou apical).

Silvestri Júnior e Singh (1978) classificaram as fraturas nas categorias: fraturas completas e incompletas. Ambas as categorias podem ser divididas em de acordo com sua direção (vertical ou oblíqua).

Luebke (1984) também classificou as fraturas em completas (separação visível ou quando a movimentação dos fragmentos pode ser realizada) ou incompletas (ausência de separação visível). Além disso, de acordo com o posicionamento da fratura em relação ao nível da crista alveolar podem ser classificadas em: fraturas intra ou supra-ósseas.

A American Association of Endodontists (1997) classificou estas lesões nos seguintes tipos:

Tabela 1: Classificação das fraturas dentárias

Classificação	Origem	Direção	Sintomas	Estado pulpar	Prognóstico
Crazy line	Coroa	Variável	Assintomática	Vital	Excelente
Cúspide fraturada	Coroa	MD ou VL	Leve, desconforto na mordida, sensibilidade ao frio	Usualmente vital	Bom
Dente com trinca	Coroa e raiz	MD (centralizada)	Dor intensa durante a mastigação, sensibilidade ao frio	Variável	Duvidoso: depende da profundidade e extensão da trinca
Dente com rachadura	Coroa e raiz	MD	Dor intensa durante a mastigação	Normalmente dente com tratamento endodôntico	Ruim
Fratura radicular vertical	Raiz	VL	Dor indefinida	Principalmente dente com tratamento endodôntico	Ruim

MD: méso-distal; VL: vestíbulo-lingual

Fonte: American Association of Endodontists (1997)

É importante ressaltar que as fraturas radiculares verticais, nesta última classificação, são fraturas completas ou incompletas em qualquer nível com direção vestíbulo-lingual, enquanto uma trinca é uma fratura incompleta que pode se estender subgengivalmente, usualmente na direção méso-distal (AMERICAN ASSOCIATION OF ENDODONTISTS, 1997).

1.3 Implicações clínicas das trincas e fraturas radiculares

Na rotina clínica, dentes com trincas e fraturas representam um dilema para a Odontologia devido não somente à diversidade de sinais e sintomas como também ao seu prognóstico imprevisível (SALINEIRO et al., 2015). O estabelecimento de um plano de tratamento depende da extensão e localização da lesão e da gravidade dos sinais e sintomas (HASAN; SINGH; SALATI, 2015).

Clark e Caughman (1984) defenderam que se a trinca for relativamente pequena e não atingir a polpa o dente pode ser restaurado. Se a trinca for mais

extensa, o dente apresentar lesões periapicais ou pulpares ou sensibilidade térmica por um período prolongado, o tratamento endodôntico deve ser realizado seguido do tratamento restaurador. Entretanto, se houver perda óssea considerável ou se houver persistência dos sintomas após a terapia endodôntica a exodontia deve ser considerada.

Em alguns casos, estabilização por meio de bandas ortodônticas pode ser feita associada ao ajuste oclusal e colocação de restaurações provisórias. Se após um determinado período de tempo o dente permanecer assintomático e com polpa vital, a estabilização pode ser removida e uma restauração overlay deve ser confeccionada. Entretanto, se os sintomas ainda estiverem presentes, mesmo com a estabilização, o tratamento endodôntico pode ser uma opção (EHRMANN; TYAS, 1990; NGUYEN; PALMER, 2009). Por outro lado, segundo Berman e Kuttler (2010) dentes com trincas e necrose pulpar devem ser extraídos.

Yang et al. (2017) reportaram que as trincas são mais comuns em molares hígidos. Estes autores revelaram que dentes com trincas e profundidade de sondagem maior que 4 mm apresentam uma maior tendência de necrose pulpar. Alguns autores sugerem que profundidades de sondagens maiores em dentes com trincas indicam um prognóstico ruim (MULLALLY; AHMED, 2000).

A maioria dos dentes com fraturas radiculares verticais é removida (DEEPTI; ANKUR, 2015). Alguns estudos destacam que cirurgia exploratória deve ser realizada para se determinar a extensão e gravidade da lesão e elaboração de plano de tratamento. Dependendo da localização e do dente envolvido (dentes multi-radiculares), pode-se optar pela remoção da raiz fraturada e manutenção do dente (FAYAD; ASHKENAZ; JOHNSON, 2012; LIAO et al., 2017; WALTON, 2017).

Em um estudo realizado por Liao et al. (2017), profundidade de sondagem periodontal maior ou igual a 5 mm foi encontrada em 91,67% dos dentes com fratura vertical examinados. Quando os dentes foram separados em grupos tratados e não tratados endodondicamente, a prevalência de fratura foi de 90,7 e 100%, respectivamente para profundidade de sondagem maior que 5 mm. Os autores também verificaram a presença de perda óssea e espaçamento do ligamento periodontal.

A fratura radicular leva à formação de tecido de granulação no ligamento periodontal e, subsequentemente, se o dente não for removido ou tratado

adequadamente, uma progressão da reabsorção do osso (MIKROGEORGIS et al., 2017; TAMSE, 2006).

1.4 Métodos diagnósticos de trincas e fraturas radiculares

Existem diversos métodos disponíveis para o diagnóstico de trincas e fraturas em dentes. Quando as trincas/fraturas apresentam uma extensão méso-distal, elas podem ser facilmente visualizadas por meio de observação macro ou microscópica, transiluminação, utilização de corantes, estando associadas aos sintomas clínicos (CLARK; SHEETS; PAQUETTE, 2003; YANG et al., 2017). Uma das técnicas mais comumente utilizadas é a radiografia periapical devido ao seu baixo custo e facilidade de obtenção. Entretanto, essas radiografias não permitem a visualização de trincas/fraturas que se estendem no longo eixo do dente. Trincas com extensão méso-distal também não podem ser observadas em radiografias periapicais (HASAN; SINGH; SALATI, 2015).

Por outro lado, a transiluminação também é um método diagnóstico rotineiramente usado. É importante ressaltar que a transiluminação deve ser empregada com o auxílio de magnificação por meio de microscópio (MATHEW et al., 2012).

A profundidade de sondagem aumentada pode também estar associada à existência de trincas/fraturas. Entretanto, este parâmetro deve ser considerado em associação a outros sinais e sintomas uma vez que apresenta baixa predição diagnóstica (MATHEW et al., 2012).

O uso da tomografia computadorizada de feixes cônicos (TCFC) para detecção de alterações e/ou lesões nos dentes e tecidos adjacentes tem se tornado crescente, especialmente devido à sua alta acurácia e sensibilidade. A TCFC é um método de diagnóstico que permite a aquisição de imagens multiplanares com resolução submilimétrica. Diferentes autores destacam como uma das vantagens da TCFC a exposição do paciente a baixas doses de radiação além de um menor tempo para sua realização em comparação com a TC convencional (ELSATANI; FARID; ELDIN ASHMAWY, 2016; MAKEEVA et al., 2016; WANG et al., 2017).

Patel et al. (2013) pesquisaram a eficiência da TCFC e radiografia periapical na observação de trincas em dentes tratados endodonticamente. Os resultados

indicaram que ambos os métodos não foram acurados na detecção de trincas na amostra utilizada. Os pesquisadores ressaltaram que, apesar da natureza tridimensional das imagens obtidas pelas TCFC, os cones de guta-percha produziram artefatos contribuindo para a não acurácia do método.

Brady et al. (2014) compararam a acurácia diagnóstica entre TCFC e radiografia periapical na detecção de trincas e fraturas verticais em dentes não tratados endodonticamente. Os dados obtidos demonstraram que a detecção de trincas por meio de TCFC foi maior em relação às radiografias. Na observação de fraturas verticais a TCCB também apresentou melhor acurácia. Entretanto, os autores destacaram que tanto a TCFC quanto as radiografias constituem métodos não confiáveis no diagnóstico de trincas. Estes resultados estão em concordância com os obtidos por Corbella et al. (2014).

Talwar et al. (2016) realizaram uma revisão sistemática e meta-análise com o objetivo de verificar o papel da TCFC no diagnóstico de fraturas/trincas verticais em dentes tratados e não tratados endodonticamente. Eles concluíram que as TCCB mostraram uma maior sensibilidade e especificidade na detecção destas lesões em dentes não tratados endodonticamente quando comparadas à radiografia periapical, principalmente quando o tamanho do voxel era de 0,2 mm. Já para dentes tratados endodonticamente, os pesquisadores verificaram que tanto a sensibilidade quanto a especificidade das TCFC na detecção destas lesões foram menores.

Idiyatullim et al. (2016) verificaram a existência de trincas em dentes por meio de TCFC e ressonância magnética em dentes extraídos. As imagens obtidas pela ressonância magnética permitiram a visualização de trincas com uma acurácia maior quando comparadas às TCFC. Os autores ressaltaram que o diagnóstico por meio de ressonância magnética pode ser um método não-invasivo efetivo para a detecção de trincas.

Jun et al. (2016) avaliaram a eficácia de detecção de trincas em 96 dentes extraídos utilizando luz fluorescente e observação microscópica. Os resultados encontrados mostraram um coeficiente de correlação de 0,84 entre os métodos. Estes dados indicam que a transiluminação pode ser uma ferramenta útil no diagnóstico de trincas.

Em uma pesquisa realizada por Wang et al. (2017) para avaliar a acurácia de detecção de trincas entre TCFC e radiografias periapicais, foram utilizados 44 dentes cujas trincas foram produzidas artificialmente, por meio de choque térmico.

Três observadores (um estudante de pós-graduação, um endodontista e um radiologista) realizaram a observação das imagens obtidas em radiografia periapical e TCFC. Os resultados demonstraram que o diagnóstico de trincas foi determinado em 77,2% nas imagens de TCFC e em 9,1% das radiografias periapicais, pelo estudante de pós-graduação. Já o endodontista observou trincas em 81,8% das TCFC e em 11,3% das radiografias, enquanto o radiologista detectou trincas em 88,6% das TCFC e em 11,3% das radiografias. Os autores concluíram que o diagnóstico de trincas em TCFC apresenta uma maior acurácia quando comparado às radiografias periapicais. Ainda neste trabalho, foi realizada análise por microtomografia computadorizada (microCT), a qual mostrou os maiores valores de acurácia na detecção de trincas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a acurácia dos métodos de imagem tomografia e radiografia convencional e digitais na detecção de trincas radiculares.

2.2 Objetivos específicos

- a) determinar e comparar a sensibilidade, especificidade e acurácia da tomografia computadorizada de feixes cônicos (TCFC) e das radiografias periapicais convencional, com *Complementary Metal Oxide Semiconductor* (CMOS) e com placa de fósforo (PSP) na detecção de trincas radiculares em dentes humanos anteriores;
- b) verificar se a detecção das trincas pela TCFC é afetada pela presença de artefato metálico em dente vizinho;
- c) avaliar o grau de dificuldade no diagnóstico da trinca pelos diferentes métodos de imagem.

3 ARTIGO

Diagnostic accuracy of conventional and digital radiography and tomography for detecting root fractures in anterior teeth

Artigo preparado dentro das normas do periódico **Imaging Science in Dentistry** (Qualis B2).

Normas para submissão de artigos podem ser visualizadas no endereço eletrônico: <https://isdent.org/index.php?body=instructions>.

**Diagnostic accuracy of conventional and digital radiography and tomography
for detecting root fractures in anterior teeth**

Flávia Rodrigues Caetano Batista de Paiva^a, Giovanna Lanza^b, Cláudia Assunção^a, Amaro Ilídio Vespasiano Silva^a, Erika Storck Cezário^a, Flávio Ricardo Manzi^a, Martinho Campolina Rebello Horta^a, Paulo Eduardo Alencar Souza^a.

^a Postgraduate Program in Dentistry, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

^b Department of Dentistry, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

Corresponding author: Prof. Paulo Eduardo Alencar Souza

Departamento de Odontologia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
Avenida Dom José Gaspar, 500. Prédio 46. Sala 101. Coração Eucarístico. Belo Horizonte - Minas Gerais. Brasil. CEP: 30535-901.

E-mail: pauloalencar@pucminas.br.

ABSTRACT

Objective: The identification of dental root cracks is a challenge in dental practice, requiring a correlation between clinical and imaging characteristics. The existence of cracks interferes in the treatment and prognosis of the affected tooth. The objective of this work was to evaluate the accuracy of different diagnostic imaging methods in the detection of root fractures in extracted upper anterior teeth.

Materials and methods: Eighteen teeth exhibiting root cracks and eighteen teeth without cracks were selected by means of direct visualization of the cracks in a stereomicroscope and by means of transillumination. The teeth were placed in anterior alveoli of human dry jaw and subjected to conventional periapical radiographs, Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) and phosphor plate (PSP), as well as cone-beam computed tomography (CBCT). Then, to verify if the presence of metallic artifact would influence the detection of cracks by CBCT, a metal core tooth was positioned next to the tooth to be evaluated and new CBCT images were obtained. The diagnosis of cracks, as well as the degree of difficulty in identifying cracks were determined by an examiner.

Results: No crack was detected in any of the periapical radiographic examinations, regardless of the technique used. Although cracks were diagnosed using CBCT, the sensitivity, specificity and accuracy of this method were low regardless of the presence of artifact. Comparing the degree of difficulty in the evaluation of the images, the detection of the cracks in the CBCT examinations was considered easier when compared to the radiographic examinations. The presence of the metal artifact did not significantly affect the degree of difficulty.

Conclusion: The data indicate that conventional and digital periapical radiographs and CBCT are not accurate methods of detecting cracked root with varied extensions and depths.

KEYWORDS: Dental fracture. Diagnosis. Dental radiography. Computed tomography. Accuracy of the data.

Introduction

The improvement and increase of the accessibility to the imaging examinations represented an advance in the areas of diagnosis, planning and treatment, opening a new perspective for Dentistry. The establishment of adequate therapy depends not only, but also the adequate visualization of defects and / or anatomical changes.¹

Occlusal forces and trauma can cause damage to the mineralized tissues of the teeth, such as cracks and fractures, with consequences to adjacent soft tissues. Cracks consist of an incomplete fracture plane that can start at the crown and extend the subgingival region, usually mesio-distal. Its presence may be asymptomatic or may be associated with pain during mastication and may lead to the development of pulpal lesions and resorptions in the alveolar bone.²

The diagnosis of cracks and fractures is based on the presence of symptoms that include pain during mastication and under pressure and sensitivity to thermal stimuli, especially to cold. In addition, methods such as periapical and interproximal radiographs, periodontal probing, transillumination and examination under microscopy have been used as diagnostic tools.¹ However, these tests have limited accuracy and may be inconclusive. In the radiography, for example, because it is a two-dimensional examination, there is overlapping of images, making it difficult to visualize structures and anatomical alterations.³

The increasing use of computerized tomography in the different areas of dentistry allows the acquisition of high resolution images, allowing the observation of cracks and fractures.^{1,4,5}

The aim of this study was to determine the sensitivity, specificity and accuracy of conventional and digital periapical radiographs and CT scan for detection of root

fractures in extracted anterior teeth. Additionally, the degree of difficulty in radicular diagnosis by the different imaging methods was evaluated.

Material and Methods

Ethical Aspects

This study was submitted to the Ethics Committee of the Pontifical Catholic University of Minas Gerais (CAAE: 0271.0.213.000-10) and conducted in accordance with current norms.

Sample

Thirty-six unirradicular teeth (central incisors, lateral incisors and upper canines) were obtained from the Teeth Bank of the Department of Dentistry of the Pontifical Catholic University of Minas Gerais. Exclusion criteria were: teeth with incomplete rhizogenesis, endodontic obturator treatment, with pins or nuclei intracane or developmental anomalies. From the obtained teeth, 18 teeth with no cracks or root fractures and 18 teeth with root clefts were selected.

To identify the cracks, the teeth were submitted to visual inspection of their root surface by means of a stereomicroscope, in a final magnification of 45 times, with LED light and high definition camera (LEICA EZ4 HD) (Fig. 1). Cracks were visualized as well-marked lines, with a generally irregular path, in any direction of the root. For confirmation, visual examination by transillumination was carried out using a halogen light source, in which the cracks are detected as dark lines by the refraction of the light incident. The root canals evaluated in this study were generated unintentionally, probably due to dryness and trauma during handling and storage of extracted teeth.

Performing image exams

The teeth were positioned in anterior alveoli in a dry human jaw to simulate the difficulty of overlapping the bone tissue. The maxilla was stabilized with the aid of a platform made of acrylic resin, containing radiographic positioner for intraoral radiography. In order to mimic the absorption and attenuation of X-rays by the soft tissues of the face, a volume similar to the nose was made in acrylic and a 20 mm thick acrylic plate was used between the X-ray source and the radiographic positioner (Fig. 2).

For the periapical radiographs, the Kodak 2200 Intraoral X-Ray System (Carestream Dental, Atlanta, USA) was used with 60 kV, 10 mA, 22 cm focal-receiver distance and 1.5 mm total aluminum filtration. The exposure time was 0.35 seconds for conventional radiographs and 0.23 seconds for digital radiographs. For conventional radiographs 31x41 mm F Speed films (Carestream Dental, Atlanta, USA) were used. The films used were processed in an automatic processor (AP 200 Processor; PHL Medical, Watford, England), with a dry-time of 7 minutes. For the digital radiographs, two sensors were used: size 2 sensor, Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) RVG 5.0, with 10 plmm of spatial resolution (Tropy, Marne La Valle, France) and phosphorus plate (Prosphor Storage Plate - PSP) (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Germany) with 10.2s of reading time. Phosphorus plaques were scanned on Vista Scan Perio Plus (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Germany) immediately after exposure.

In the conventional and digital radiographic examinations incidences were performed according to the parallelism technique, where the central X-ray beam was perpendicular to the long axis of the tooth and to the image receptor. As a method of radiographic tracking of cracks and fractures, two more acquisitions were performed

with horizontal angulation variation (10° for mesial and for distal). For the standardization and stabilization of the radiographic techniques, radiographic positioner and protractor were used. All images were obtained by a single experienced, properly trained radiologist.

For the CBCT exams, a Kodak 9000-3D Cone Beam scanner (Carestream Dental, Atlanta, USA) was used. The teeth were introduced into the alveoli and the maxilla was scanned, being positioned with the perpendicular mean sagittal plane and the occlusal plane parallel to the ground. The tomograph was adjusted to: 74 kV, 6.9 mA and exposure time of 10.9 seconds, with fixed FOV of 5 cm X 3.75 cm. The voxel, that is, the distance between the tomographic sections, was 76 μm . All images were acquired in DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) format.

To evaluate the interference of metal artifacts in the detection of root fractures, they were placed in the alveolus close to the tooth to be analyzed tooth with a molten metal core.

Evaluation of images

A specialist in Dental Radiology analyzed the images obtained blindly and independently. Conventional radiographs were evaluated using a negatoscope in a dark environment. Digital images were analyzed on a 22-inch flat panel monitor using Kodak Dental Imaging software 6.14.7, using image manipulation tools. CT scans were analyzed using CS 3D Imaging software (Carestream Dental, Atlanta, USA).

The cracks were diagnosed by means of visualization of the radiolucent / hypodense line crossing the root and the images classified according to the following visual scale:

- a) +2: certainty of crack
- b) +1: likely to crack
- c) 0: impossible to affirm
- d) -1: probable absence of crack
- e) -2: no cracking

Statistical analysis

The degree of intra-examiner agreement (repeatability) was determined by Cohen's Kappa, using 20 samples independently for each of the imaging methods used. The values obtained were: 1.0 for conventional periapical radiographs, 0.84 for BACB and 0.82 for BACB with artifact.

The degree of agreement between the imaging methods was estimated using Cohen's Kappa, using the 36 tooth samples, considering the root cleft diagnosis result for each of the types of imaging tests, independently.

The concordance analyzes were performed using the StatsToDo statistical tool, accessed from StatsToDo Trading Pty Ltd (Brisbane, Queensland, Australia). The results were compared to the parameters of the classification of Kappa concordance index proposed by Landis and Koch (13).

For statistical analysis, scores +1 and +2 were grouped as positive for crack and the other scores grouped as absence of crack.

The diagnosis of the images obtained by the different methods was compared with the gold standard of magnification by stereomicroscope using the ROC curve, evaluating the ability of the examiner to differentiate between teeth with and without crack.

To qualitatively measure the difficulty in detecting cracks in each of the 36 teeth images, a Likert Type scale was used independently for each of the types of exams. The following scores were assigned for level of difficulty: 1 - very difficult; 2 - difficult; 3 - neutral; 4 - easy; 5 - very easy.

To compare the level of difficulty in determining the imaginary diagnosis of crack among the imaging methods, the Friedman test followed by Dunn's post hoc test was used, considering all 36 teeth and independently. The level of significance was set at 5% and these analyzes were performed by GraphPad Prism software (GraphPad Software, San Diego, CA, USA).

Results

No cracks were detected in any of the teeth evaluated by conventional and digital periapical radiographs, regardless of horizontal angulation variation (Fig. 3). In the TCCB exams, root clefts were visualized as delicate hypodense lines (Fig. 3).

The degree of agreement for the diagnosis of root cleft by the Cohen Kappa method showed small or almost non-existent agreement between the diagnoses obtained by direct visual inspection by means of a stereomicroscope and by radiographic or tomographic imaging methods (Table 1). Comparison of the root diagnoses between CBT and CBT with presence of metallic artifact showed that agreement by Cohen's Kappa was 0.38 (95% CI: 0.07 to 0.68), indicating reasonable agreement.

Several performance parameters (sensitivity, specificity, positive predictive value, negative predictive value and accuracy) were calculated for the diagnosis of root fractures for the various imaging methods evaluated (Table 2). Regarding the specificity, the value 100 obtained for the radiographic examinations only represents

that the observer did not diagnose cracks in teeth in which there were no cracks. However, the sensitivity for these radiographic methods was zero, indicating that the observers were not able to identify crack in any tooth with this type of fracture. In the tomographic examinations, the values were low for all the parameters (Table 2).

For a better visualization of the accuracy of the diagnosis of root fractures by different methods and imaging conditions, a ROC curve was elaborated with the obtained data. From the ROC curve, the areas of the triangles formed with vertices close to the Y axis, considering the sensitivity and specificity of the imaging methods, are related to the accuracy in the diagnosis. The graphical representation obtained showed absence of a triangular area for the radiographic exams and triangles with a vertex facing the X axis (Fig. 4), indicating a low diagnostic accuracy for all the methods.

The results of the comparison of the data obtained by measuring the level of difficulty in the detection of cracks are shown in Table 3. The detection of cracks in the examinations of CBT with or without artifact was considered easier when compared to the radiographic examinations, regardless of the type radiographic examination. No significant differences were detected between the types of periapical radiographic examination. The presence of metallic artefacts in the TCCB exams also did not significantly alter the difficulty of the diagnosis when compared to the tomography without artifacts.

Discussion

Dental fractures and fractures are a diagnostic challenge in dental practice. More specifically the cracks, which are fractures without separation of the fragments

and, therefore, with smaller thickness³, may demand complementary tests with greater power of detection of micrometric changes.

In the present study, digital and conventional periapical radiographic examinations showed no sensitivity for the diagnosis of root fractures, even associated to the radiographic tracing technique with horizontal angulation variation. These findings are in agreement with those obtained by Chavda et al.⁶, who found a sensitivity value for the detection of cracks in periapical radiographs of only 3%. Considering that the cracks commonly begin in the dental crown and extend longitudinally apically, usually in the center of the tooth³, in the present study, horizontal angulation variations were performed in the attempt to position the X-ray beam on the long axis of the cracks. Independently of the angulation, no crack was visualized in the periapical radiographic examinations, probably due to the fact that the examination was two-dimensional, which provides the concealment of small thickness cracks, in addition to the overlapping of images inherent to the periapical radiographic technique.³ In contrast, the presence of vertical root fractures could be more easily detected in image exams because they presented complete separation of the fragments, generating a better marked and thicker radiolucent / hypodense line. However, a systematic review by Salineiro et al.⁷ showed that the detection of vertical fractures by periapical radiography without the presence of metallic artifact obtained a concordance of 0.51 (CI 0.45-0.56). These data reveal that even root fractures are difficult to identify on periapical radiographs. Considering the smaller thickness of the cracks, their visualization in periapical radiographs would be even more difficult.

Currently, CBCT has been considered an elective exam for cracks and root fractures due to its high accuracy.^{5,8-10}

However, the results of the present study showed low accuracy in radicular root-root diagnosis by CBCT. The presence of metallic artifacts did not significantly affect the diagnostic concordance when compared to BCCB without artifact, reinforcing the difficulty in the diagnosis of cracking, even by this type of examination.

As the root canals evaluated in this study were generated in an unintentional way, it was not possible to observe a pattern of extension and depth of crack. The lack of accuracy in the detection of cracks by CBCT can be explained in part by the heterogeneity of the cracks evaluated, making it difficult to detect deeper and deeper cracks.

A recent previous study evaluated the accuracy of CBCT in the detection of artificially generated cracks in extracted teeth by means of thermal shock and demonstrated that the crack depth cut-off point for detection by this imaging method was 1.24 mm, when evaluated by an experienced radiologist.¹ This study also showed that the crack depth cut-off point for digital periapical radiography was at least 6.12 mm.¹ Thus, it is possible that the depth of the cracks in the teeth evaluated in the present study is smaller than the dimensions detectable by the periapical radiographic examinations used. Probably, some cracks with greater depth have been able to be detected by CBCT. Examination of the teeth by means of computerized microtomography could allow the measurement of the depths of the cracks to confirm this hypothesis.

In addition to the depth of the crack, another factor that may have contributed to the low accuracy in the root diagnosis of these alterations in the present in vitro study would be the absence of visualization of alterations in the periradicular tissues, as occurs in vivo. In many cases of root fractures, focal thickening of the periodontal ligament space with reabsorption of the cortical hard blade adjacent to the crack

line11 occurs, which may direct the examiner to a more detailed evaluation of this region of the root and contribute to the detection of cracking.

In the literature, most of the studies evaluated the detection of fractures by different imaging methods.¹¹⁻¹⁴ One study showed significant differences in accuracy, specificity and sensitivity values for detection of fractures ranging from 50 to 150 μm in teeth in vitro (0.81, 0.92 and 0.85, respectively) and in in vivo teeth (0.60, 0.50 and 0.56, respectively). In fractures with widths greater than 150 μm the authors did not find significant differences in the parameters evaluated⁴. Although several studies have evaluated performance measures for fracture diagnosis, there is little information on the sensitivity, specificity and accuracy of these methods in the detection of root fractures.¹

In the present study, the evaluation of the degree of difficulty by the Likert scale showed greater difficulty in the evaluation of the tomographic images than in the periapical radiographs, regardless of the type of examination. It is possible that the reduced crack size was not sufficient to generate minimally detectable changes in the periapical radiographs, and therefore, the non-visualization of these has made the evaluation easier for the examiner. For CBCT, the use of reduced FOV (field of view) and voxel improves image quality and the ability to detect changes.¹⁵⁻¹⁷ In the present study, FOV of 5 x 3.75 cm and voxel of 76 μm were used, which improves the spatial resolution allowing the visualization of root micro alterations and, consequently, generating doubts about the real existence of cracks. Melo et al.¹⁸ suggest that in the case of suspected root fractures, voxel size should be 200 μm . However, there are no established protocols in the literature on voxel and FOV sizes for the diagnosis of root fractures and fractures.

Considering the CBCT exams, the presence of artifact did not significantly increase the difficulty of evaluating the images, reinforcing the low accuracy of CBCT to detect artificially induced cracks in the evaluated teeth.

Data from the present study indicate that conventional and digital periapical radiographs and CBCT are not accurate methods of detecting rootlets with varying depths and depths.

Conclusion

The lack of accuracy in the detection of root canals by both periapical radiographs and CBCT can be explained in part by the heterogeneity and reduced dimensions of the cracks evaluated. The occurrence of these in vivo cracks should be investigated to determine their implications in dental and periodontal tissues.

References

1. Wang S, Xu Y, Shen Z, Wang L, Qiao F, Zhang X, et al. The Extent of the crack on artificial simulation models with CBCT and periapical radiography. *PLoS One* 2017; 12: e0169150.
2. American Association of Endodontists. Cracking the cracked tooth code. American Association of Endodontists Colleagues for Excellence, Fall/Winter, 1997.
3. Hasan S, Singh K, Salati N. Cracked tooth syndrome: overview of literature. *Int J Appl Basic Med Res* 2015; 5: 164-8.
4. Makeeva IM, Byakova SF, Novozhilova NE, Adzhieva EK, Golubeva GI, Grachev VI, et al. Detection of artificially induced vertical root fractures of different widths by cone beam computed tomography in vitro and in vivo. *Int Endod J* 2016; 49: 980-9.
5. Elsaltani MH, Farid MM, Eldin Ashmawy MS. Detection of simulated vertical root fractures: which cone-beam computed tomographic system is the most accurate? *J Endod* 2016; 42: 972-7.
6. Chavda R, Mannocci F, Andiappan M, Patel S. Comparing the in vivo diagnostic accuracy of digital periapical radiography with cone-beam computed tomography for the detection of vertical root fracture. *J Endod* 2014; 40: 1524-9.
7. Salineiro FCS, Kobayashi-Velasco S, Braga MM, Cavalcanti MGP. Radiographic diagnosis of root fractures: a systematic review, meta-analyses and sources of heterogeneity. *Dentomaxillofac Radiol*. 2017 Dec;46(8):20170400.
8. Fisekcioglu E, Dolekoglu S, Ilguy M, Ersan N, Ilguy D. In vitro detection of dental root fractures with cone beam computed tomography (CBCT). *Iran J Radiol* 2014; 11: e11485.

9. Dutra KL, Pachêco-Pereira C, Bortoluzzi EA, Flores-Mir C, Lagravère MO, Corrêa M. Influence of intracanal materials in vertical root fracture pathway detection with cone-beam computed tomography. *J Endod* 2017; 43: 1170-5.
10. Wanderley VA, Neves FS, Nascimento MCC, Monteiro GQM, Lobo NS, Oliveira ML, et al. Detection of incomplete root fractures in endodontically treated teeth using different high-resolution cone-beam computed tomographic imaging protocols. *J Endod* 2017; 43: 1720-4.
11. Tamse A. Vertical root fractures in endodontically treated teeth: diagnostic signs and clinical management. *Endodontic Topics* 2006; 13(1):84-94.
12. Brady E, Mannocci F, Brown J, Wilson R, Patel S. A comparison of cone beam computed tomography and periapical radiography for the detection of vertical root fractures in nonendodontically treated teeth. *Int Endod J*. 2014; 47: 735-46.
13. Patel S, Brady E, Wilson R, Brown J, Mannocci F. The detection of vertical root fractures in root filled teeth with periapical radiographs and CBCT scans. *Int Endod J* 2013; 46: 1140-52.
14. Idiyatullin D, Garwood M, Gaalaas L, Nixdorf DR. Role of MRI for detecting micro cracks in teeth. *Dentomaxillofac Radiol* 2016; 45: 20160150.
15. Ozer SY. Detection of vertical root fractures of different thicknesses in endodontically enlarged teeth by cone beam computed tomography versus digital radiography. *J Endod* 2010; 36: 1245-9.
16. Hassan B, Metska ME, Ozok AR, van der Stelt P, Wesselink PR. Detection of vertical root fractures in endodontically treated teeth by a cone beam computed tomography scan. *J Endod* 2009; 35: 719-22.

17. Hassan B, Metska ME, Ozok AR, van der Stelt P, Wesselink PR. Comparison of five cone beam computed tomography systems for the detection of vertical root fractures. *J Endod* 2010; 36: 126-9.
18. Melo SL, Bortoluzzi EA, Abreu M Jr, Corrêa LR, Corrêa M. Diagnostic ability of a cone-beam computed tomography scan to assess longitudinal root fractures in prosthetically treated teeth. *J Endod* 2010; 36: 1879-82.

Tables

Table 1 - Kappa values for concordance between visual diagnosis obtained by direct examination with stereomicroscope and the imaging methods, calculated by Cohen Kappa.

	Conventional	PSP	CMOS	CBCT	CBCT ART
	0.00	0.00	0.00	-0.11	-0.33
Stereo	(95%IC:	(95%IC:	(95%IC:	(95%IC:	(95%IC:
microscope	-0.32 a 0.32)	-0.32 a 0.32)	-0.32 a 0.32)	-0.43 a 0.21)	-0.64 a -0.02)

CMOS: complementary metal oxide semiconductor based detector; PSP: phosphor storage plate; CBCT: cone-beam computed tomography; CBCT Art: cone-beam computed tomography artifact in a neighboring tooth.

Table 2 - Performance measures for cracked root in images obtained by periapical radiographs and computed tomography (%).

	Conventional radiography	CCD	PSP	CBCT	CBCT Art
Sensitivity	0	0	0	46.6	44.4
Specificity	100	100	100	38.8	22.2
Negative predictive value	50	50	50	46.6	28.5
Positive predictive value	0	0	0	38.8	36.3
Accuracy	50	50	50	42.4	33.3

CMOS: complementary metal oxide semiconductor based detector; PSP: phosphor storage plate; CBCT: cone-beam computed tomography; CBCT Art: cone-beam computed tomography artifact in a neighboring tooth.

Table 3 - Comparison of measures of central tendency, dispersion and position of the data obtained by measuring the level of difficulty of evaluation of radiographic and tomographic images.

Measures ¹	Conventional radiography	CMOS	PSP	CBCT	CBCT Art
Minimum	4	2	3	1	1
P25	4	3	4	2	2
P50	5	4	4	3	3
P75	5	4	5	3	4
Maximum	5	5	5	4	5
Sum	164 ^a	136 ^a	156 ^a	101 ^b	105 ^b

¹ Values measured by Likert scale for difficulty level: 1 - very difficult, 2 - difficult, 3 - neutral, 4 - easy, 5 - very easy; P25 - 25th percentile (first quartile); P50 - 50th percentile (median); P75 - 75th percentile (third quartile); Sum (arithmetic sum of the values assigned to the 36 evaluated teeth). Sum values followed by different letters represent statistically significant differences between the imaging methods ($p < 0.05$). p value obtained by the Friedman test followed by Dunn's post hoc test). CMOS: complementary metal oxide semiconductor based detector; PSP: phosphor storage plate; CBCT: cone-beam computed tomography; CBCT Art: cone-beam computed tomography artifact in a neighboring tooth.

Figures

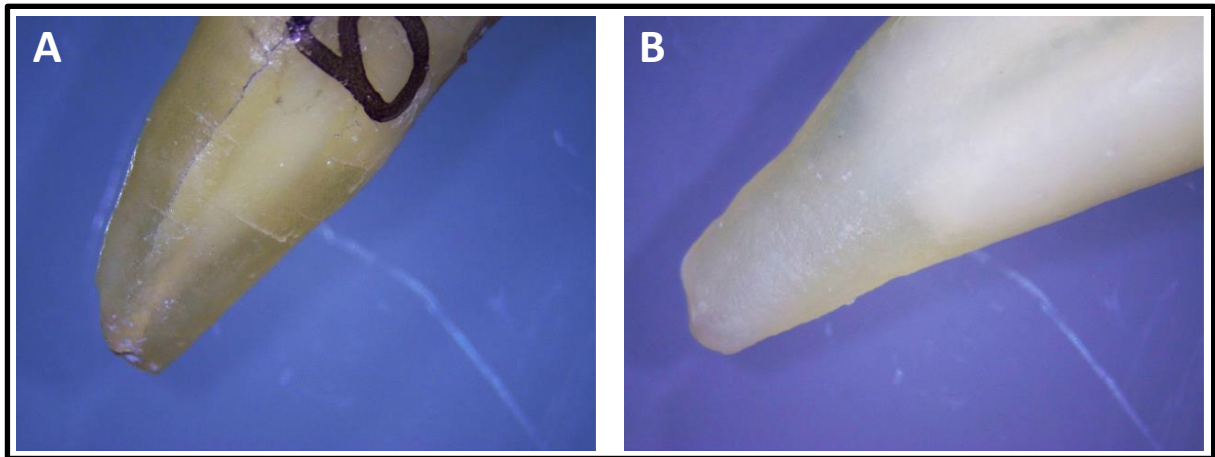


Figure 1 - Visual examination of dental roots by stereomicroscope. A) Tooth with cracked root. B) Tooth without cracked root.



Figure 2 - Dry jaw stabilized on acrylic platform with radiographic positioner for periapical radiographs.

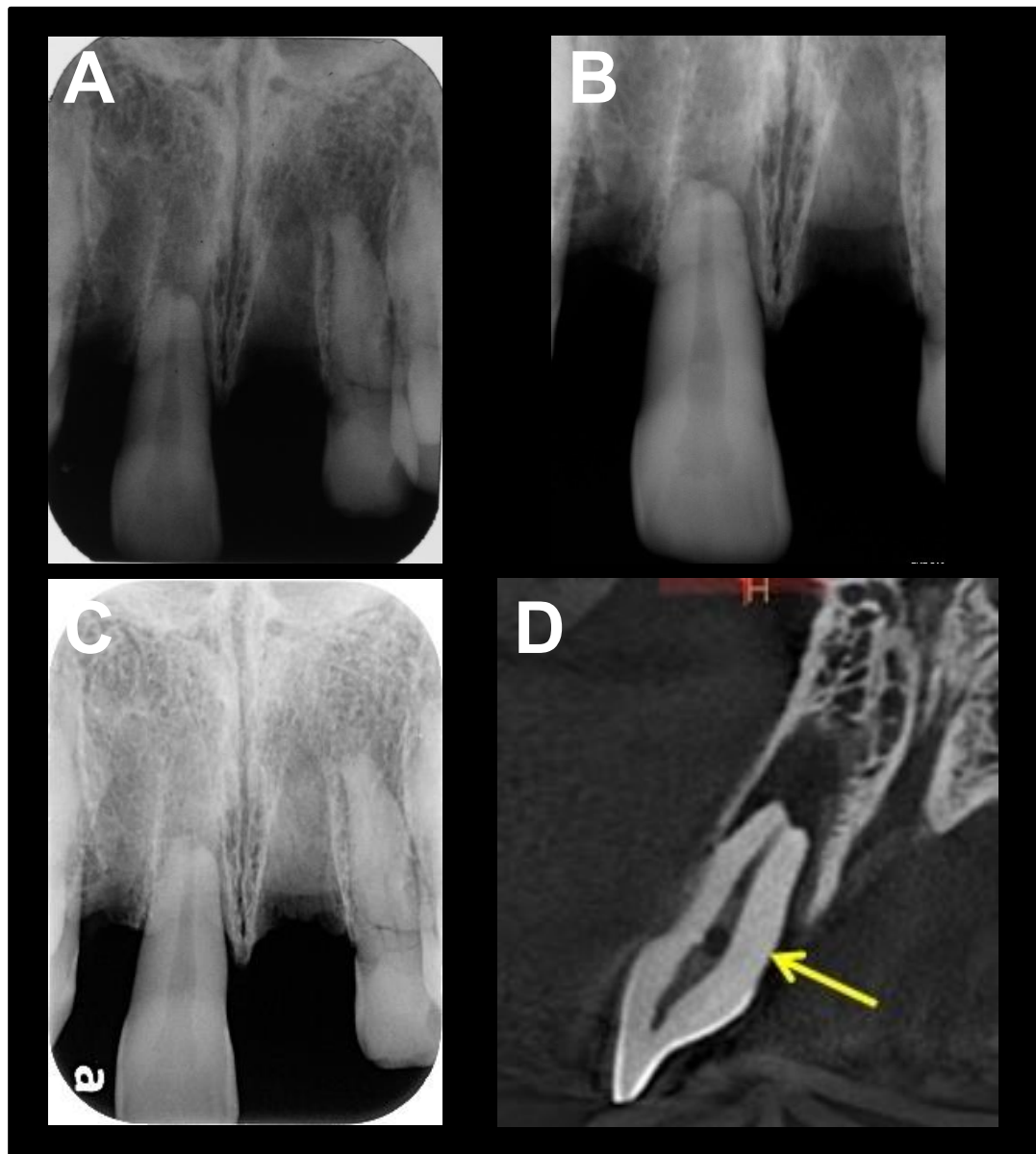


Figure 3 - Radiographic and tomographic images of a cracked tooth positioned in the alveolus of the central incisor. A) Conventional periapical radiography; B) periapical radiography with Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS); C) periapical radiography with phosphor plate (PSP); D) cone beam computed tomography. Arrow indicates cracked root.

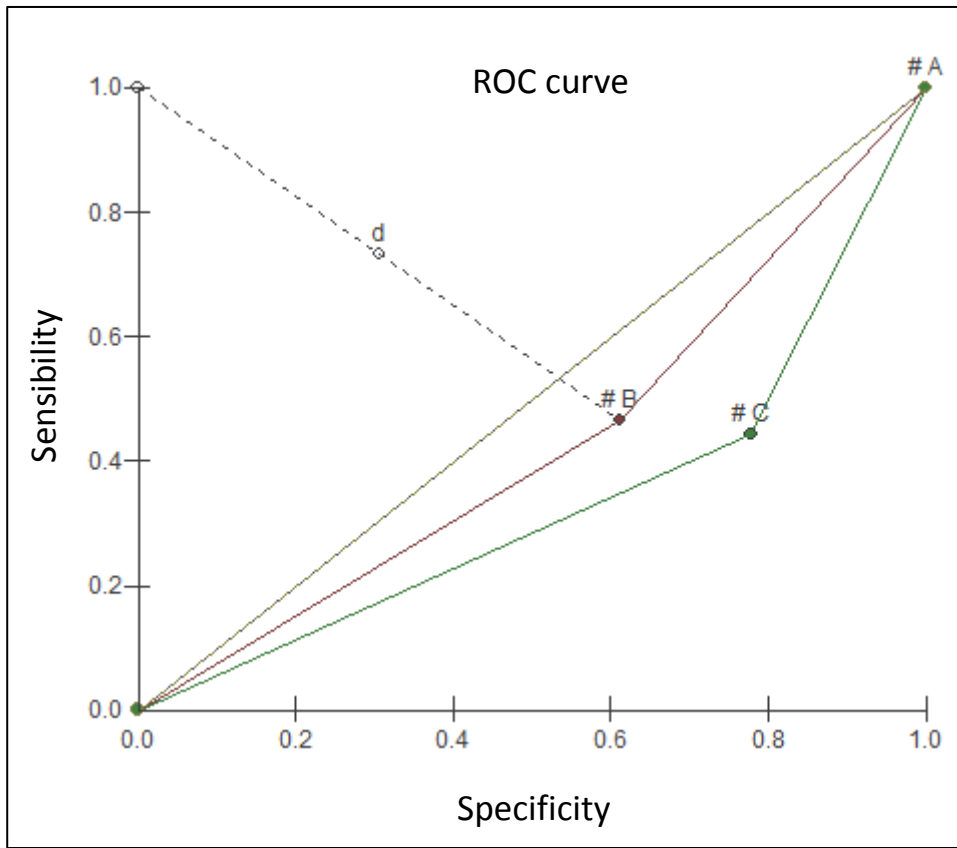


Figure 4 - ROC curve for sensitivity and specificity in the diagnosis of cracked root in conventional and digital periapical radiographs (A), cone-beam computed tomography (B), cone-beam computed tomography artifact in a neighboring tooth (C).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A falta de acurácia na detecção de trincas radiculares, tanto pelas radiografias periapicais quanto pela tomografia computadorizada de feixes cônicos, pode ser explicada em parte pela heterogeneidade e reduzidas dimensões das trincas avaliadas. A ocorrência dessas trincas *in vivo* deve ser investigada para se determinar as implicações das mesmas nos tecidos dentais e periodontais.

REFERÊNCIAS

- AIDA, J. et al. Reasons for permanent tooth extractions in Japan. **Journal of Epidemiology**, v.16, n.5, p. 214-219, Sept. 2006.
- AMERICAN ASSOCIATION OF ENDODONTISTS. Cracking the cracked tooth code. **American Association of Endodontists Colleagues for Excellence**, Fall/Winter, 1997.
- BERMAN, L.H.; KUTTLER, S. Fracture necrosis: diagnosis, prognosis assessment, and treatment recommendations. **Journal of Endodontics**, v.36, n.3, p. 442-446, Mar. 2010.
- BRADY, E. et al. A comparison of cone beam computed tomography and periapical radiography for the detection of vertical root fractures in nonendodontically treated teeth. **International Endodontic Journal**, v.47, n.8, p. 735-746, Aug. 2014.
- CAMERON, C.E. Chicago cracked-tooth syndrome. **Journal of the American Dental Association**, v.68, p. 405-411, Mar. 1964.
- CAMERON, C.E. The cracked tooth syndrome: additional findings. **Journal of the American Dental Association**, v.93, n.5, p. 971-985, Nov. 1976.
- CHRYSANTHAKOPOULOS, N.A. Reasons for extraction of permanent teeth in Greece: a five-year follow-up study. **International Dental Journal**, v.61, n.1, p. 19-24, Feb. 2011.
- CLARK, L.L.; CAUGHMAN, W.F. Restorative treatment for the cracked tooth. **Operative Dentistry**, v.9, n.4, p. 136-142, 1984.
- CLARK, D.J.; SHEETS, C.G.; PAQUETTE, J.M. Definitive diagnosis of early enamel and dentin cracks based on microscopic evaluation. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**, v.15, n.7, p. 391-401, 2003.
- CORBELLA, S. et al. Cone beam computed tomography for the diagnosis of vertical root fractures: a systematic review of the literature and meta-analysis. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, and Oral Radiology**, v.118, n.5, p. 593-602, Nov. 2014.
- COSTA, F.F. et al. Influence of cone-beam computed tomographic scan mode for detection of horizontal root fracture. **Journal of Endodontics**, v.40, n.9, p. 1472-1476, Sept. 2014.
- DEEPTI, D.; ANKUR, D. Reconstruction and intentional replantation of a maxillary central incisor with a complete vertical root fracture: a rare case report with three years follow up. **Journal of Clinical and Diagnostic Research**, v.9, n.9, p. ZD06-ZD09, Sept. 2015.

DUTRA, K.L. et al. Influence of intracanal materials in vertical root fracture pathway detection with cone-beam computed tomography. **Journal of Endodontics**, v.43, n.7, p. 1170-1175, July 2017.

EHRMANN, E.; TYAS, M. Cracked tooth syndrome: diagnosis, treatment and correlation between symptoms and post- extraction findings. **Australian Dental Journal**, v.35, n.2, p. 105-112, Apr. 1990.

ELLIS, S.G. Incomplete tooth fracture—proposal for a new definition. **British Dental Journal**, v.190, n.8, p. 424-428, Apr. 2001.

ELSALTANI, M.H.; FARID, M.M.; ELDIN ASHMAWY, M.S. Detection of simulated vertical root fractures: which cone-beam computed tomographic system is the most accurate? **Journal of Endodontics**, v.42, n.6, p. 972-977, June 2016.

FAYAD, M.I.; ASHKENAZ, P.J.; JOHNSON, B.R. Different representations of vertical root fractures detected by cone-beam volumetric tomography: a case series report. **Journal of Endodontics**, v.38, n.10, p. 1435-1442, Oct. 2012.

GIBBS, J.W. Cuspal fracture odontalgia. **Dental Digest**, v.60, p. 158-160, 1954.

HASAN, S.; SINGH, K.; SALATI, N. Cracked tooth syndrome: Overview of literature. **International Journal of Applied and Basic Medical Research**, v.5, n.3, p. 164-168, 2015.

HIATT, L.R. Oceania. **Reviews**, v.43, p. 241-242, 1973.

HILTON, T.J. et al. Cracked teeth: a practice-based prevalence survey. **Journal of Dental Research**, v.86, p. 2044, Jan. 2007.

IDIYATULLIN, D. et al. Nixdorf role of MRI for detecting micro cracks in teeth. **Dentomaxillofacial Radiology**, v.45, n.7, p. 20160150, Sept. 2016.

JUN, M.K. et al. Detection and analysis of enamel cracks by quantitative light-induced fluorescence technology. **Journal of Endodontics**, v.42, n.3, p. 500-504, Mar. 2016.

KANG, S.H.; KIM, B.S.; KIM, Y. Cracked teeth: distribution, characteristics, and survival after root canal treatment. **Journal of Endodontics**, v.42, n.4, n. 557-562, Apr. 2016.

LARSON, T.D. The effect of occlusal forces on restorations. **The Journal of the Michigan Dental Association**, v.96, n.9, p. 38-47, Sept. 2014.

LIAO, W.C. et al. Clinical and radiographic characteristics of vertical root fractures in endodontically and nonendodontically treated teeth. **Journal of Endodontics**, v.43, n.5, p. 687-693, May 2017.

LUBISICH, E.B. et al. Cracked teeth: a review of the literature. **Journal of the Esthetic and Restorative Dentistry**, v.22, n.3, p. 158-167, June 2010.

LUEBKE, R.G. Vertical crown-root fractures in posterior teeth. **Dental Clinics of North America**, v.28, n.4, p. 883-894, Oct. 1984.

LYNCH, C.D.; McCONNELL, R.J. The cracked tooth syndrome. **Journal (Canadian Dental Association)**, v.68, n.8, p. 470-475, Sept. 2002.

MAKEEVA, I.M. et al. Detection of artificially induced vertical root fractures of different widths by cone beam computed tomography in vitro and in vivo. **International Endodontic Journal**, v.49, n.10, p. 980-989, Oct. 2016.

MATHEW, S. et al. Diagnosis of cracked tooth syndrome. **Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences**, v.4, Suppl. 2, p. S242-244, Aug. 2012..

MATSUDA, K. et al. Incidence and association of root fractures after prosthetic treatment. **Journal of Prosthodontic Research**, v.55, n.3, p. 137-140, July 2011.

MIKROGEORGIS, G. et al. Diagnosis of vertical root fractures in endodontically treated teeth utilising Digital Subtraction Radiography: A case series Report. **Australian Endodontic Journal**, Dec. 2017. [Epub ahead of print].

MULLALLY, B.H.; AHMED, M. Periodontal signs and symptoms associated with vertical root fracture. **Dental Update**, v.27, n.7, p. 356-360, Sept. 2000.

NGUYEN, V.; PALMER, G. A review of the diagnosis and management of the cracked tooth. **Dental Update**, v.36, n.6, p. 338-340, 342, 345-6, July/Aug. 2009.

OZER, S.Y. Detection of vertical root fractures of different thicknesses in endodontically enlarged teeth by cone beam computed tomography versus digital radiography. **Journal of Endodontics**, v.36, n.7, p. 1245-1249, July 2010.

PATEL, S. et al. The detection of vertical root fractures in root filled teeth with periapical radiographs and CBCT scans. **International Endodontic Journal**, v.46, n.12, p. 1140-1152, Dec. 2013.

PRADEEPAKUMAR, A.R. et al. Diagnosis of vertical root fractures in restored endodontically treated teeth: a time-dependent retrospective cohort study. **Journal of Endodontics**, v.42, n.8, p. 1175-1180, Aug. 2016.

RITCHEY, B.; MENDENHALL, R.; ORBAN, B. Pulpitis resulting from incomplete tooth fracture. **Oral Surgery, Oral Medicine, and Oral Pathology**, v.10, n.6, p. 665-670, June 1957.

RIVERA, E.M.; WALTON, R.E. Longitudinal tooth fractures: findings that contribute to complex endodontic diagnoses. **Endodontic Topics**, v.16, n.1, p. 82-111, Mar. 2007.

ROH, B.D.; LEE, Y.E. Analysis of 154 cases of teeth with cracks. **Dental Traumatology**, v.22, n.3, p. 118-123, June 2006.

SALINEIRO, F.C.S. et al. Detection of horizontal root fracture using four different protocols of cone-beam computed tomography. **Brazilian Oral Research (online)**, v.29, n.1, p. 1-6, June 2015.

SALINEIRO, F.C.S. et al. Radiographic diagnosis of root fractures: a systematic review, meta-analyses and sources of heterogeneity. **Dentomaxillofacial Radiology**, v.46, n.8, p. 20170400, Dec. 2017.

SHIN, J.H.; KIM, R.J.Y. Management of horizontal root fractures by fabrication of canine protected occlusion using composite resin. **Restorative Dentistry & Endodontics**, v.37, n.3, p. 180-184, Aug. 2012.

SILVESTRI JÚNIOR, A.R.; SINGH, I. Treatment rationale of fractured posterior teeth. **Journal of the American Dental Association**, v.97, n.5, p. 806-810, Nov. 1978.

TALIM, S.T.; GOHIL, K.S. Management of coronal fractures of permanent posterior teeth. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v.31, n.2, p. 172-183, Feb. 1974.

TALWAR, S. et al. Role of cone-beam computed tomography in diagnosis of vertical root fractures: a systematic review and meta-analysis. **Journal of Endodontics**, v.42, n.1, p. 12-24, Jan. 2016.

TAMSE, A. Vertical root fractures in endodontically treated teeth: diagnostic signs and clinical management. **Endodontic Topics**, v.13, n.1, p. 84-94, Mar. 2006.

TÜRP, J.C.; GOBETTI, J.P. The cracked tooth syndrome: An elusive diagnosis. **Journal of the American Dental Association**, v.127, n.10, p. 1502-1507, Oct. 1996.

WALTON, R.E. Vertical root fracture: Factors related to identification. **Journal of the American Dental Association**, v.148, n.2, p. 100-105, Feb. 2017.

WANG, S. et al. The Extent of the crack on artificial simulation models with CBCT and periapical radiography. **PLoS One**, v.12, n.1, p. e0169150, Jan. 2017

YANG, S.E. et al. Analysis of the characteristics of cracked teeth and evaluation of pulp status according to periodontal probing depth. **BMC Oral Health (online)**, v.17, p. 135, Nov. 2017.

YOSHINO, K. et al. Prevalence of vertical root fracture as the reason for tooth extraction in dental clinics. **Clinical Oral Investigations**, v.19, n.6, p. 1405-1409, July 2015.

ZUCKERMAN, G.R. The cracked tooth. **The New York State Dental Journal**, v.64, n.6, p. 30-35, 1998.

ANEXO A - Folha de aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da PUC Minas

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Pró-Reitoria de Pesquisa e de Pós-Graduação
Comitê de Ética em Pesquisa

Belo Horizonte, 13 de dezembro de 2010.

De: Profa. Maria Beatriz Rios Ricci
Coordenadora do Comitê de Ética em Pesquisa

Para: Priscila Dias Peyneau
Programa de Pós-graduação em Odontologia

Prezado (a) pesquisador (a),

O Projeto de Pesquisa CAAE – 0271.0.213.000-10 "*Deteção de trincas e fraturas radiculares por meio de radiografia digital e tomografia computadorizada*" foi **aprovado** pelo Comitê de Ética em Pesquisa da PUC Minas.

Atenciosamente,

Profa. Maria Beatriz Rios Ricci
Coordenadora do Comitê de Ética em Pesquisa – PUC Minas