



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE  
NÚCLEO DE PESQUISA EM ORTODONTIA E ODONTOPEDIATRIA**

MARCIO JOSÉ DA SILVA CAMPOS

**AVALIAÇÃO DA DENSIDADE MINERAL ÓSSEA E RADICULAR DE INCISIVOS  
SUPERIORES COM E SEM DIAGNÓSTICO DE REABSORÇÃO RADICULAR  
APICAL EM INDIVÍDUOS SUBMETIDOS A TRATAMENTO ORTODÔNTICO**

JUIZ DE FORA

2012

MARCIO JOSÉ DA SILVA CAMPOS

**AVALIAÇÃO DA DENSIDADE MINERAL ÓSSEA E RADICULAR DE INCISIVOS  
SUPERIORES COM E SEM DIAGNÓSTICO DE REABSORÇÃO RADICULAR  
APICAL EM INDIVÍDUOS SUBMETIDOS A TRATAMENTO ORTODÔNTICO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde, área de concentração em Saúde Brasileira, da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Robert Willer Farinazzo Vitral

JUIZ DE FORA

2012

MARCIO JOSÉ DA SILVA CAMPOS

**AVALIAÇÃO DA DENSIDADE MINERAL ÓSSEA E RADICULAR DE INCISIVOS  
SUPERIORES COM E SEM DIAGNÓSTICO DE REABSORÇÃO RADICULAR  
APICAL EM INDIVÍDUOS SUBMETIDOS A TRATAMENTO ORTODÔNTICO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde, área de concentração em Saúde Brasileira, da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor

Aprovada em: 03/08/2012

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Robert Willer Farinazzo Vitral  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Prof. Dr. Marco Abdo Gravina  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ione Helena Vieira Portella Brunharo  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

---

Prof. Dr. Jonas Capelli Júnior  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

---

Prof. Dr. Evandro de Toledo Lourenço Júnior  
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dedico este trabalho

à Jocimara, minha esposa e amiga, pelo apoio e paciência;

à Paula e Camila, minhas irmãs, por sempre vibrarem, pelas nas minhas conquistas;

aos nossos pais, Marigilda e Ferreira, pelo amor e apoio incondicionais;

ao novo maior amor da minha vida, Maria Fernanda, minha adorada afilhada e sobrinha, que transformou nossas vidas em constante felicidade...

## AGRADECIMENTOS

ao meu orientador Prof. Dr. Robert Willer Farinazzo Vitral, pela amizade e por confiar a mim responsabilidades cada vez maiores;

ao amigo Prof. Dr. Marco Abdo Gravina e Prof. Marcelo Reis Fraga, pela amizade e confiança em meu trabalho;

aos amigos Helder, Hélio, Rodrigo, Charles e Sérgio, pela amizade, apoio e por acreditarem em meu sucesso;

à Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ione Helena Vieira Portella Brunharo, ao Prof. Dr Evandro de Toledo Lourenço Júnior e ao Prof. Jonas Capelli Júnior, pelo incentivo e disposição em contribuírem para minha formação sempre que requisitados;

aos alunos Elisa e Bernardo, pela brilhante participação neste estudo, incentivo e amizade;

à Ângela Maria de Oliveira Delgado, pela amizade, solicitude, atenção e preocupação ao longo de todos estes anos.

Muito Obrigado!

## RESUMO

Durante o tratamento ortodôntico, a densidade mineral (DM) óssea aumentada é considerada fator de risco para a reabsorção radicular apical (RRA) enquanto a DM do cemento é associada à proteção da raiz contra essa lesão. Nosso objetivo foi avaliar a DM da estrutura dentária do terço radicular apical e do osso alveolar adjacente de incisivos superiores com e sem RRA associada ao tratamento ortodôntico. Foram selecionados e submetidos ao exame de tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) 21 pacientes em tratamento que apresentavam um incisivo com RRA e o seu correspondente contralateral sem RRA. A DM foi avaliada nas imagens obtidas em quatro áreas no terço apical radicular e em quatro áreas no osso alveolar adjacente. Os incisivos com RRA apresentaram DM radicular maior do que os incisivos sem RRA, porém essa diferença não foi significativa. O osso alveolar supra-apical foi mais denso nos incisivos sem RRA ( $p < 0,05$ ). A DM radicular não foi associada com a proteção da raiz contra a reabsorção. A menor DM do osso supra-apical foi associada à presença da RRA nos incisivos superiores.

Palavras-chave: Reabsorção da Raiz. Densidade óssea. Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico. Movimento dentário. Dentina.

## ABSTRACT

During orthodontic treatment, increased bone mineral density (BMD) is considered a risk factor for apical root resorption (ARR), whereas the cementum mineral density has been associated to the protection of the root against this lesion. Our objective was to evaluate the mineral density (MD) of the apical third of the root and adjacent alveolar bone of maxillary incisors with and without ARR associated to orthodontic treatment. Twenty one patients under treatment with one incisor with ARR and its contralateral counterpart without ARR were selected and submitted to cone beam computed tomography (CBCT). Mineral density was assessed in the images obtained from 4 areas of the apical third of the root and 4 areas of adjacent alveolar bone. Incisors with ARR showed greater root mineral density than incisors without ARR, however the difference was not significant. The supra-apical alveolar bone showed high density in the incisors without ARR ( $p < 0.05$ ). Root mineral density was not associated with root protection against resorption. The lower MD of the supra-apical bone was associated with the presence of ARR in the maxillary incisors.

Key words: root resorption. Bone density. Cone beam computed tomography. Tooth movement. Dentin.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**DEXA** – *Dual-Energy X-ray Absorptiometry*

**DM** – Densidade mineral

**DMO** – Densidade mineral óssea

**DMR** – Densidade mineral radicular

**HU** – *Hounsfield Units*

**mm** – milímetros

**RRA** – Reabsorção radicular apical

**TCFC** – Tomografia computadorizada de feixe cônico



## SUMÁRIO

### SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	11
2.1	PROCESSOS BIOLÓGICOS .....	11
2.2	PREVALÊNCIA .....	12
2.3	FATORES ORTODÔNTICOS ASSOCIADOS .....	13
2.4	SUSCEPTIBILIDADE INDIVIDUAL .....	15
2.5	CARACTERÍSTICAS ÓSSEAS ASSOCIADAS .....	17
2.6	RESISTÊNCIA DAS RAÍZES À REABSORÇÃO .....	18
2.7	REPARAÇÃO DAS LESÕES DE REABSORÇÃO RADICULAR .....	19
2.8	PROGNÓSTICO DA REABSORÇÃO RADICULAR APICAL .....	20
2.9	DIAGNÓSTICO DA REABSORÇÃO RADICULAR APICAL .....	21
<b>3</b>	<b>PROPOSIÇÃO</b> .....	23
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODO</b> .....	24
4.1	MATERIAL .....	24
4.2	MÉTODO .....	24
4.2.1	Densidade mineral radicular (DMR) .....	25
4.2.2	Densidade mineral do osso alveolar (DMO) .....	26
4.2.3	Análise estatística .....	27
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	28
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	29
	<b>APÊNDICES</b> .....	36
	<b>APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido</b> .....	36
	<b>ANEXOS</b> .....	38
	<b>ANEXO A - Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa</b> .....	38
	<b>ARTIGO - The role of orthodontic tooth movement in bone and root mineral density: a study of patients submitted and not submitted to orthodontic treatment</b> .....	39

## 1 INTRODUÇÃO

A reabsorção radicular apical (RRA), associada ao tratamento ortodôntico, caracteriza-se pelo encurtamento das raízes dentárias ou mesmo arredondamento dos ápices decorrentes da movimentação dentária induzida (BREZNIAK e WASSERSTEIN, 1993a). Apesar de ser uma ocorrência comum e inevitável durante o tratamento (GOULTSCHIN; NITZAN; AZAZ, 1982; COPELAND e GREEN, 1986; GOLDIN, 1989; BREZNIAK e WASSERSTEIN, 1993a; BLAKE; WOODSIDE; PHAROAH, 1995; COSTOPOULOS e NANDA, 1996; LUPI; HANDELMAN; SADOWSKY, 1996; PARKER e HARRIS, 1998; BREZNIAK e WASSERSTEIN, 2002; GOLDNER *et al.*, 2002; SAMESHIMA e SINCLAIR, 2004; SMALE *et al.*, 2005), esta alteração não apresenta sintomatologia clínica (WESTPHALEN, 2002), sendo detectada radiograficamente em exames de rotina apenas em alguns dentes de alguns pacientes (NEWMAN, 1975), não tendo significado clínico na maioria dos casos (LUPI; HANDELMAN; SADOWSKY, 1996).

A etiologia da reabsorção radicular apical ainda não é totalmente entendida, mas múltiplos fatores são associados ao seu aparecimento. Alguns deles são relacionados com susceptibilidade do indivíduo, como fatores genéticos e sistêmicos, sexo, idade, morfologia radicular e história de trauma nos incisivos e reabsorção radicular prévia (NEWMAN, 1975; KALEY e PHILLIPS, 1991; BREZNIAK e WASSERSTEIN, 1993a; BREZNIAK e WASSERSTEIN, 1993b; MIRABELLA e ÅRTUN, 1995; SAMESHIMA e SINCLAIR, 2001; HARTSFIELD; EVERETT; AL-QAWASMI, 2004; CONSOLARO, 2005b). Características inerentes ao tratamento ortodôntico também são relacionadas à reabsorção radicular, como duração do tratamento e magnitude, direção e tipo força ortodôntica aplicada (BREZNIAK e WASSERSTEIN, 1993a; BREZNIAK e WASSERSTEIN, 1993b; SAMESHIMA e SINCLAIR, 2004; CONSOLARO, 2005b; HARRIS; JONES; DARENDELILER, 2006).

A densidade do osso alveolar também é sugerida como fator facilitador de reabsorções radiculares (GOLDIE e KING, 1984; BREZNIAK e WASSERSTEIN, 1993a; BREZNIAK e WASSERSTEIN, 1993b), uma vez que ossos menos densos facilitariam a

movimentação dentária (MIDGETT; SHAYE; FRUGE, 1981), porém essa relação ainda não está bem estabelecida (OTIS; HONG; TUNCAY, 2004). Uma vez que a densidade mineral do osso alveolar está relacionada à reabsorção radicular, a densidade mineral da estrutura da raiz dentária poderia ser um fator preponderante em sua proteção contra a reabsorção.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar e comparar a densidade mineral, através de tomografia computadorizada de feixe cônico, da estrutura dentária do terço radicular apical e do osso alveolar adjacente de incisivos superiores com e sem o diagnóstico de reabsorção radicular apical radiograficamente detectada, em indivíduos submetidos ao tratamento ortodôntico.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 PROCESSOS BIOLÓGICOS

A aplicação de forças ortodônticas com o objetivo de induzir o movimento dentário quebra a homeostasia tecidual no ligamento periodontal, principalmente pela queda na concentração de oxigênio e pela deformação das células, sendo considerada agente físico de estresse celular (CONSOLARO, 2005a).

Esta desestabilização física e funcional das células tem como consequência a liberação de mediadores químicos que estimulam funções celulares com o objetivo do tecido resistir, se adaptar ou eliminar o agente físico. No caso da força ortodôntica, a eliminação do agente físico se dá pela reabsorção óssea frontal no lado de pressão, que causa alargamento do espaço do ligamento periodontal e alívio da compressão do mesmo. Os mediadores químicos liberados causam a saída dos osteoblastos das superfícies ósseas, expondo-as aos osteoclastos, que realizam a reabsorção do osso. Como os cementoblastos não possuem receptores para esses mediadores, essas células permanecem sobre o cimento, não permitindo a ação das células clásticas e a reabsorção do cimento (RYGH, 1977; CONSOLARO, 2005a).

Quando a queda na concentração de oxigênio ocorre de maneira mais grave, em consequência da compressão excessiva do ligamento periodontal, resulta na degeneração e necrose celular e modificação da matriz extracelular nesse tecido, criando as zonas de hialinização. Por serem locais acelulares, nos locais que contêm tecido hialinizado não é possível que ocorra a reabsorção óssea frontal, obrigando os osteoclastos a agirem nas periferias e nas trabéculas ósseas subjacentes, o que dificulta a movimentação dentária (BRUDVIK e RYGH, 1994; CONSOLARO, 2005a). À medida que essas trabéculas são unidas, ocorre a movimentação abrupta do dente juntamente com o tecido hialinizado e a cortical óssea não reabsorvida. Este padrão de reabsorção óssea resulta na perda de alguma quantidade de estrutura dentária (REITAN, 1974; BRUDVIK e RYGH, 1994; FOO; JONES; DARENDELILER; 2007), pois, além da aumentada atividade clástica, a ocorrência de anóxia local resulta na

morte dos cementoblastos que cobrem a superfície radicular, permitindo a ação de células clásticas no tecido dentário e a instalação do processo de reabsorção radicular (CONSOLARO, 2005a).

Assim, a resposta inflamatória induzida associada ao processo de eliminação da compressão do ligamento periodontal e reparação da área afetada pode ocorrer de uma forma mais ou menos agressiva, dependendo da intensidade do agente físico, que pode agir como um estímulo ou um agressor, e da adaptação dos tecidos envolvidos. Clinicamente, esta variabilidade estímulo/resposta pode ser representada quando uma mesma mecânica ortodôntica gera resultados clínicos distintos em pacientes diferentes ou em dentes diferentes de um mesmo paciente (CONSOLARO, 2005a).

## 2.2 PREVALÊNCIA

A reabsorção radicular apical é uma das mais frequentes complicações associadas ao tratamento ortodôntico, sendo considerada uma consequência iatrogênica inevitável do tratamento (GOULTSCHIN; NITZAN; AZAZ, 1982; COPELAND e GREEN, 1986; GOLDIN, 1989; BREZNIAK e WASSERSTEIN, 1993a; BLAKE; WOODSIDE; PHAROAH, 1995; COSTOPOULOS e NANDA, 1996; PARKER e HARRIS, 1998; BREZNIAK e WASSERSTEIN, 2002; GOLDNER *et al.*, 2002; SAMESHIMA e SINCLAIR, 2004; SMALE *et al.*, 2005). Esta lesão é reconhecida como um problema clínico que ocorre em variados graus em quase todos os pacientes (KALEY e PHILLIPS, 1991), podendo haver a remoção superficial de cimento e dentina em algumas áreas das superfícies radiculares, muitas das vezes não identificadas através de radiografias periapicais (PROFFIT, 2007).

Os incisivos superiores têm sido relatados como os dentes mais susceptíveis a reabsorções radiculares durante o tratamento ortodôntico (PHILLIPS, 1955; NEWMAN, 1975; REMINGTON *et al.*, 1989; LINGE e LINGE, 1991; MIRABELLA e ÅRTUN, 1995; SAMESHIMA e SINCLAIR, 2001). Isto pelo fato de esses dentes serem os mais afetados pelo tratamento ortodôntico, por motivos estéticos e funcionais, e pelas suas raízes cônicas transmitirem de forma mais intensa a força ao ápice dentário

(OPPENHEIM, 1936), principalmente os incisivos laterais superiores, pois suas raízes são mais afuniladas (BRIN *et al.*, 2003). Para Remington *et al.* (1989), os incisivos superiores além de mais acometidos, exibem reabsorções mais severas.

Em 1955, Phillips avaliou 69 pacientes em tratamento ortodôntico, em que 61,1% dos dentes exibiram algum grau de RRA, sendo mais acometidos: incisivo central superior (97,1%), incisivo lateral superior (91,8%), incisivo central inferior (82,6%), incisivo lateral inferior (79%), canino superior (48,2%), canino inferior (33,6%). Todos os outros grupos de dentes exibiram menos de 20% de prevalência de reabsorção (0,7 a 18,5%).

### 2.3 FATORES ORTODÔNTICOS ASSOCIADOS ÀS REABSORÇÕES RADICULARES

As forças ortodônticas são a base para a movimentação dentária e a determinação sua intensidade é um dos pontos fundamentais para que ela não cause danos extensos no tecido periodontal. A determinação de forças ótimas para a movimentação ortodôntica tem sido sugerida (SCHWARZ, 1932; BENCH; GUGINO; HILGERS, 1978; QUINN e YOSHIKAWA, 1985; PROFFIT, 2007) para que não haja comprometimento extenso do ligamento periodontal e que o dente movimente a taxa ideal. Entretanto, não é a força aplicada sobre o dente que atua como agente agressor, mas a pressão desenvolvida no ligamento periodontal (CONSOLARO, 2005b), isto porque a pressão corresponde à força distribuída sobre uma superfície, porque temos a distribuição das forças ortodônticas no ligamento periodontal que é o ponto crítico das mecânicas ortodônticas.

Weltman *et al.* (2010) analisaram 13 publicações, sendo que quatro delas abordavam a influência da intensidade da força ortodôntica sobre a RRA e concluíram que a aplicação de forças pesadas contribui significativamente para a indução da RRA quando comparada às forças de menor intensidade, em revisão sistemática sobre a associação da movimentação ortodôntica com a reabsorção radicular. A intensidade da força foi a única variável relacionada à mecânica ortodôntica que apresentou evidência de produzir mais ou menos RRA.

A distribuição das forças aplicadas ao dente sobre a superfície radicular é limitada, durante o movimento de intrusão, pois este movimento coincide com o longo eixo dentário, fazendo com que boa parte da força seja concentrada em uma área na região apical, o que é exacerbado pela configuração cônica das raízes dentárias (PROFFIT, 2007). Este tipo de movimentação foi associado à reabsorção radicular apical em incisivos (PARKER e HARRIS, 1998), sendo que a quantidade e a extensão dessas lesões aumentaram de maneira significativa em função da intensidade da força aplicada (HARRIS; JONES; DARENDELILER, 2006; KARADENIZ *et al.*, 2011).

O movimento de intrusão muitas das vezes é acompanhado pelo deslocamento lingual do ápice radicular ou torque lingual de raiz dos incisivos superiores (PARKER e HARRIS, 1998), que pode aumentar o risco de RRA pela maior extensão da movimentação do ápice radicular (SAMESHIMA e SINCLAIR, 2001; SEGAL; SCHIFFMAN; TUNCAY, 2004) e pela aproximação das raízes com a cortical óssea lingual, o que pode aumentar em 20 vezes a chance dos incisivos apresentarem RRA severas (KALEY e PHILLIPS, 1991).

A incorporação de torque nos dentes pode estar relacionada ao diagnóstico de RRA, pois alguns estudos mostraram a relação dessas lesões com o tempo de permanência de arcos retangulares durante o tratamento ortodôntico (KALEY e PHILLIPS, 1991; LINGE e LINGE, 1991). Já os trabalhos de Mirabella e Årtun (1995) e Smale *et al.* (2005) não encontraram associação significativa entre este movimento e as lesões de RRA em incisivos superiores.

A duração do tratamento ortodôntico, considerando diferentes mecânicas e técnicas utilizadas, não influenciou de maneira significativa a incidência (LINGE e LINGE, 1983; LEVANDER e MALMGREN, 1988; KALEY e PHILLIPS, 1991; MIRABELLA e ÅRTUN, 1995; WELTMAN *et al.*, 2010) ou a gravidade (BECK e HARRIS, 1994) das reabsorções radiculares apicais.

Com relação à técnica utilizada, McNab *et al.* (2000) encontraram incidência de RRA 2, três vezes maior em dentes posteriores após o tratamento ortodôntico pela técnica de Begg em comparação à técnica de *Edgewise*. Apesar disso, a incidência dessas lesões nos dentes anteriores não mostrou diferença significativa entre as

técnicas, assim como trabalhos anteriores (BECK e HARRIS, 1994; PARKER e HARRIS, 1998).

## 2.4 SUSCEPTIBILIDADE INDIVIDUAL

Ao avaliarmos o risco que um paciente apresenta em desenvolver uma reabsorção radicular apical durante o tratamento ortodôntico, algumas de suas características individuais devem ser analisadas, pois parecem exercer mais influência sobre o aparecimento de RRA do que as mecânicas ortodônticas empregadas (HARTSFIELD; EVERETT; AL-QAWASMI, 2004; SEGAL; SCHIFFMAN; TUNCAY, 2004).

A idade e o gênero dos pacientes parecem não exercer influência significativa na incidência e na severidade da RRA durante o tratamento ortodôntico (LINGE e LINGE, 1983; LEVANDER e MALMGREN, 1988; BECK e HARRIS, 1994; HENDRIX *et al.*, 1994; HORIUCHI; HOTOKEZAKA; KOBAYASHI, 1998; PARKER e HARRIS, 1998). Sameshima e Sinclair (2001) relataram que pacientes adultos exibiram mais RRA do que os pacientes jovens, porém esta diferença foi verificada somente entre os dentes anteriores inferiores.

O trauma dentário previamente ao tratamento ortodôntico é considerado como fator de risco à RRA nos incisivos superiores (ANDREASEN, 1985; LINGE e LINGE, 1991; BREZNIAK e WASSERSTEIN, 2002). Malmgren *et al.* (1982) associaram o trauma dentário à maior tendência ao aparecimento de reabsorções radiculares durante o tratamento ortodôntico somente nos dentes que apresentavam algum grau de RRA previamente ao tratamento. Já nos trabalhos de Kaley e Phillips (1991) e de Smale *et al.* (2005) não foi encontrada associação significativa do trauma nos incisivos com o diagnóstico de RRA após o tratamento de 21 e 290 indivíduos, respectivamente.

A morfologia radicular é uma característica frequentemente abordada nos trabalhos que investigam a reabsorção radicular apical. Uma correlação diretamente proporcional entre o risco de RRA e o comprimento das raízes é relatada na literatura (LEVANDER e MALMGREN, 1988; MIRABELLA e ÅRTUN, 1995; SAMESHIMA e SINCLAIR, 2001; SMALE *et al.*, 2005). Isto pode ser explicado pelo fato de que durante



os movimentos de inclinação dentária, nos sentidos vestibulo-lingual ou méso-distal, os ápices de raízes mais compridas executarão maiores excursões horizontais, movimento associado ao aumento da extensão da RRA (SAMESHIMA e SINCLAIR, 2001). Contrariamente, o fato de os aparelhos ortodônticos utilizarem as coroas dentárias como ponto de apoio para a aplicação das forças faz com que o dente funcione como uma alavanca durante sua movimentação. Assim, a redução da raiz dentária, além de diminuir a superfície de dissipação da força, faz com que a força exercida pela alavanca (coroa dentária), seja transmitida de forma mais direta para o ápice radicular (CONSOLARO, 2005b; OYAMA *et al.*, 2007).

A forma geométrica da raiz dentária também pode influenciar na distribuição das forças ortodônticas sobre o ligamento periodontal e osso alveolar (CONSOLARO, 2005b). Dentes com raízes estreitas, cônicas ou romboidais ou com os ápices radiculares em forma de pipeta são mais susceptíveis à reabsorção radicular apical durante o tratamento ortodôntico (LEVANDER e MALMGREN, 1988; MIRABELLA e ÅRTUN, 1995; SAMESHIMA e SINCLAIR, 2001; CONSOLARO, 2005b; SMALE *et al.*, 2005; PROFFIT, 2007), e, dentes que possuem a raiz e/ou o ápice dilacerados apresentam maior risco à RRA (MIRABELLA e ÅRTUN, 1995; SAMESHIMA e SINCLAIR, 2001; SMALE *et al.*, 2005).

Kook; Park; Sameshima (2003) avaliaram a ocorrência de RRA em 114 indivíduos com um incisivo lateral superior conoide ou com tamanho reduzido, sendo seus correspondentes contralaterais de dimensões normais. Não houve diferença significativa entre os incisivos conoides e os de dimensões normais, entretanto os incisivos com tamanho reduzido apresentaram redução radicular média menor do que os incisivos laterais normais após o tratamento ortodôntico.

Características genéticas têm sido relacionadas com a suscetibilidade dos indivíduos a desenvolverem a RRA durante o tratamento ortodôntico (NEWMAN, 1975; HARRIS; KINERET; TOLLEY, 1997; SAMESHIMA e SINCLAIR, 2001; HARTSFIELD; EVERETT; AL-QAWASMI; 2004). Harris; Kineret; Tolley (1997) relataram haver um fator genético substancial na suscetibilidade para a RRA após a avaliação de 103 pares de irmão tratados sob as mesmas condições. Hartsfield; Everett; Al-Qawasmi (2004) descreveram que uma variação genética na produção de IL-1beta pode diminuir capacidade de reabsorção óssea na interface entre o osso alveolar e o ligamento

periodontal, prolongando a pressão após a aplicação de forças ortodônticas, o que facilita a agressão aos tecidos associados e à reabsorção radicular. Para Consolaro (2005b), a susceptibilidade ou predisposição genética à reabsorção radicular ainda não foi comprovada, existindo, provavelmente, uma desconsideração ou inobservância de fatores locais associados a essas reabsorções.

## 2.5 CARACTERÍSTICAS ÓSSEAS ASSOCIADAS À REABSORÇÃO RADICULAR

Previamente aos eventos celulares em resposta à compressão de ligamento periodontal, ocorrem alguns efeitos mecânicos que também têm por objetivo o alívio da pressão tecidual, são eles o deslocamento do fluido existente neste tecido, uma acomodação de toda a matriz extracelular e a deflexão do osso alveolar (CONSOLARO, 2005b). Este último evento depende diretamente da flexibilidade do tecido ósseo, que é determinada pela concentração de elementos minerais em sua estrutura ou densidade mineral (BRIDGES; KING; MOHAMMED, 1988; CHOI *et al.*, 2009).

Ossos com alta densidade mineral requerem a aplicação de forças ortodônticas mais intensas para a realização da movimentação dentária, aumentando a possibilidade de ocorrerem reabsorções radiculares (RYGH e REITAN, 1972; GOLDIE e KING, 1984). Além disso, ossos menos mineralizados são mais facilmente remodelados, mesmo na presença de tecido hialinizado (BRIDGES; KING; MOHAMMED, 1988), o que aumenta a velocidade da movimentação dentária (MIDGETT; SHAYE; FRUGE, 1981; GOLDIE e KING, 1984; ROBERTS; ARBUCKLE; ANALOUI, 1996).

A proximidade das raízes dentárias com o osso cortical lingual durante a movimentação dentária foi associado com a reabsorção radicular apical em incisivos superiores (KALEY e PHILLIPS; 1991; HORIUCHI; HOTOKEZAKA; KOBAYASHI, 1998). Kaley e Phillips (1991) relataram que a movimentação dos dentes contra a cortical óssea aumentou em 20 vezes a chance dos incisivos apresentarem RRA severas. A relação estabelecida entre a RRA e a proximidade das raízes com o osso cortical pode ser ocasionada pela maior densidade mineral que este osso apresenta (MISCH, 1990; CHOI *et al.*, 2009).

Wainwright (1973) avaliaram histologicamente incisivos mandibulares movidos contra a cortical óssea vestibular e, posteriormente, recolocados no osso trabecular pela movimentação lingual. Não houve diferença significativa na quantidade de reabsorção radicular nas faces vestibular e lingual, mostrando que as movimentações contra os ossos cortical ou trabecular tiveram o mesmo efeito na superfície radicular. Resultado semelhante foi relatado por Otis; Hong; Tuncay (2004), que, ao avaliarem incisivos inferiores e a sínfise mandibular antes e após o tratamento ortodôntico, não encontraram correlação significativa entre a densidade do osso trabecular e a quantidade de RRA.

## 2.6 RESISTÊNCIA DAS RAÍZES À REABSORÇÃO

A primeira proteção das raízes dentárias contra a reabsorção radicular, seja durante o tratamento ortodôntico ou não, é a camada de cementoblastos que recobre o cimento. Quando esta camada é lesionada, as células clásticas presentes no ligamento periodontal entram em contato com o cimento e iniciam o processo de reabsorção (CONSOLARO, 2005a), fazendo com que o cimento, neste momento, seja a próxima resistência contra o processo de reabsorção. Contribuindo para essa barreira, o conteúdo mineral do cimento parece afetar suas propriedades físicas aumentando sua resistência contra a ação das células clásticas e a instalação da reabsorção radicular (REMINGTON *et al.*, 1989; ALATLI; HELLSING; HAMMARSTRÖM, 1996; DARENDELILER *et al.*, 2004).

Foo; Jones; Darendeliler (2007) avaliaram o volume das lesões de reabsorção radicular em dentes movimentados ortodonticamente de ratos alimentados com água fluoretada por duas semanas, comparando o resultado com ratos mantidos sem água fluoretada. Apesar de o volume médio das crateras ter sido maior nos ratos controle ( $78,8 \times 10^{-4} \text{ mm}^3$ ) do que nos ratos mantidos com água fluoretada ( $42,5 \times 10^{-4} \text{ mm}^3$ ), essa diferença não foi estatisticamente significativa.

Karadeniz *et al.* (2011) avaliaram as dimensões de lesões de reabsorção radicular em pré-molares de 48 indivíduos movidos ortodonticamente com força pesada ou leve. Os indivíduos residiam em locais onde a água pública era tratada com  $<0,05\text{ppm}$  (24 indivíduos) ou  $>2\text{ppm}$  (24 indivíduos) de fluoreto. Entre os

indivíduos submetidos à força pesada, os que consumiam altas doses de fluoreto apresentaram reabsorções radiculares com menos de 40% do tamanho das encontradas nos indivíduos que consumiam baixas doses de fluoreto, havendo uma diferença significativa. Entre os indivíduos submetidos à força leve, a dosagem de fluoreto na água de consumo não apresentou influência significativa.

Remington *et al.* (1989) especularam os dentes que apresentavam tratamento endodôntico eram mais resistentes contra a reabsorção radicular pelo aumento da densidade da estrutura radicular promovida pelo tratamento.

## 2.7 REPARAÇÃO DAS LESÕES DE REABSORÇÃO RADICULAR

A reabsorção radicular apical relacionada ao tratamento ortodôntico não continua após a remoção do aparelho ortodôntico (LINGE e LINGE, 1983; COPELAND e GREEN, 1986; KALEY e PHILLIPS, 1991), pois, uma vez que a força ortodôntica cessa, o agente físico causador da perturbação tecidual é eliminado (CONSOLARO, 2005a).

Remington *et al.* (1989), após avaliação de todos os dentes de 100 indivíduos tratados ortodonticamente, relataram não ter havido mudanças significativas na extensão da RRA após um tempo médio de 14.1 anos de remoção do aparelho. Os autores observaram que um processo de reparação ocorreu após o tratamento, em que as raízes que apresentavam contorno apical irregular exibiram uma remodelação e regularização dos ápices e o espaço do ligamento periodontal voltou ao normal.

Rygh (1977) observou que as lacunas, na superfície radicular formadas durante a remoção de tecido hialinizado originado pela compressão excessiva do ligamento periodontal, começam a ser reparadas por tecido cementoide logo nos intervalos de forças intermitentes. Se as forças fossem reaplicadas, a reabsorção radicular progredia, caso após contrário as lacunas de reabsorção eram reparadas.

Owman-Moll, Kurol e Lundgren (1995) avaliaram histologicamente 64 primeiros pré-molares movidos vestibularmente e mantidos em contenção de uma a oito semanas. Após a primeira semana de contenção, 28% das lacunas

apresentavam algum grau de preenchimento com cimento e 2% estavam totalmente preenchidas, apresentando o contorno radicular normal. Após oito semanas, 75% das lacunas estavam parcialmente preenchidas e 12% já apresentavam o contorno radicular normal.

## 2.8 PROGNÓSTICO DA REABSORÇÃO RADICULAR APICAL

A consequência com maior significado clínico da redução do comprimento radicular após o tratamento ortodôntico é o possível comprometimento do suporte dentário. Reduções de 2 mm no comprimento das raízes dos incisivos resultam em 6 a 9% menos superfície radicular e de ligamento periodontal. Um encurtamento de 4 mm leva a 18 a 23% de redução de superfície e 6 mm de encurtamento corresponde a uma diminuição de 28 a 38% de área superficial do ligamento periodontal (PHILLIPS, 1955). Assim, reduções radiculares de até 3 mm, que comprometeriam por volta de 15% do suporte periodontal, fazem parte do custo biológico do tratamento ortodôntico e não comprometem a vida útil e a função dos dentes, sendo clinicamente aceitáveis (PHILLIPS, 1955; CONSOLARO, 2005b).

Em termos estruturais, Kalkwaf; Krejci; Pao (1986) relataram que a cada 3 mm de diminuição do comprimento radicular equivalem funcionalmente a 1 mm de perda de altura da crista óssea marginal, sugerindo que o comprimento radicular é menos importante para a manutenção do suporte dentário do que a permanência de um osso alveolar íntegro.

Em casos extremos, em que mais de um terço da raiz dentária foi comprometida pela reabsorção radicular, a mobilidade dentária pode apresentar-se clinicamente pela alteração da proporção coroa/raiz, comprometendo dessa forma a permanência do elemento dentário em seu alvéolo (LEVANDER e MALMGREN, 2000). Mesmo nessas situações, a maioria dos dentes atingidos desempenham suas funções de maneira razoável durante muitos anos após o término do tratamento ortodôntico (REMINGTON *et al.*, 1989).

## 2.9 DIAGNÓSTICO DA REABSORÇÃO RADICULAR APICAL

As reabsorções radiculares, geralmente, não apresentam sintomatologia clínica, sendo detectadas casualmente em exames radiográficos de rotina (WESTPHALEN, 2002; DUDIC *et al.*, 2009). Tradicionalmente, os exames radiográficos panorâmicos e periapicais são os mais utilizados para o diagnóstico e controle dessas lesões, pois são simples e expõem os pacientes a baixas doses de radiação (BREZNIAK e WASSERSTEIN, 2002). Entretanto, esses métodos radiográficos, além de sobrepor outras estruturas mineralizadas sobre as imagens das raízes, fornecem imagens bidimensionais de estruturas tridimensionais, o que restringe a visualização de alterações nas superfícies palatina e vestibular e dificulta a observação de lesões iniciais (SCHWARZ *et al.*, 1987; WESTPHALEN, 1998; VELVART; HECKER; TILLINGER, 2001; BREZNIAK e WASSERSTEIN, 2002; CONSOLARO, 2005b), podendo resultar na subestimativa da extensão das lesões (DUDIC *et al.*, 2009). A influência negativa desse exame foi demonstrado por Nance *et al.* (2000), que relataram resultados falso-negativo em 51,9% e falso-positivo em 15,3% dos casos em que a reabsorção radicular é analisada.

Até mesmo a execução dos exames de radiografias periapicais pode oferecer problemas que, se não forem controlados, influenciam nas medições lineares das imagens obtidas, sendo eles: movimentação do paciente ou do tubo de raios-X, alteração das distâncias filme/dente ou foco/dente e alterações na angulação entre o filme e o tubo de raios-X (ROBERTS; ARBUCKLE; ANALOUI, 1996).

O advento da tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) representou o desenvolvimento de um tomógrafo relativamente pequeno e de menor custo, especialmente indicado para a região dentomaxilofacial (MOZZO *et al.*, 1998), permitindo à Odontologia a reprodução de imagens tridimensionais de tecidos mineralizados com mínima distorção e algumas vantagens como: 1 - presença de colimador, que confina a radiação à área de interesse, 2 - a utilização dos *voxels*, que permite reconstruções com a mesma qualidade da imagem original, 3 - a maior velocidade do exame, e 4 - a menor radiação a qual o paciente é exposto, sendo 1/60 da dose da tomografia computadorizada *multislice* (MAH *et al.*, 2003; HOLBERG *et al.*, 2005; SCARFE; FARMAN; SUKOVIC, 2006; SWENNEN *et al.*, 2006).

As imagens tridimensionais oriundas da TCFC podem ser utilizadas para o diagnóstico de lesões de reabsorção radicular, mostrando maior sensibilidade e especificidade do que os exames radiográficos convencionais, principalmente quando as lesões estão localizadas nas faces vestibular ou lingual das raízes dentárias (HOLBERG *et al.*, 2005; SCARFE; FARMAN; SUKOVIC, 2006; DUDIC *et al.*, 2009). Este método fornece imagens em cortes das raízes dentárias, o que elimina a sobreposição de estruturas e exhibe os diferentes níveis de reabsorção nas faces vestibular e lingual, mostrando-se preciso no diagnóstico das lesões de reabsorção radicular (LUND; GRÖNDAHL; GRÖNDAHL, 2010).

A TCFC pode ainda ser utilizada na determinação da densidade mineral, sendo indicada pela sua baixa emissão de radiação (SANTIAGO *et al.*, 2009; HSU *et al.*, 2010) e pela correlação linear que seus valores apresentam com o coeficiente de atenuação dos materiais (MAH; REEVES; McDAVID, 2010) e com os valores de Unidades Hounsfield (HU) obtidos com tomografia computadorizada médica (ARANYARACHKUL *et al.*, 2005; LAGRAVES *et al.*, 2008) e com DEXA (*Dual-Energy X-ray Absorptiometry*) (MARQUEZAN *et al.*, 2012).

### **3 PROPOSIÇÃO**

Avaliar e comparar a densidade mineral, pela tomografia computadorizada de feixe cônico, da estrutura dentária do terço radicular apical e do osso alveolar adjacente de incisivos superiores com e sem o diagnóstico de reabsorção radicular apical radiograficamente detectada, em indivíduos submetidos ao tratamento ortodôntico.



## 4 MATERIAL E MÉTODO

### 4.1 MATERIAL:

A amostra foi constituída de 21 indivíduos (09 homens e 12 mulheres), com idade média de 20,8 anos, em tratamento ortodôntico com aparelho fixo de *Edgewise*, selecionados a partir do diagnóstico de reabsorção radicular apical em um incisivo superior por meio de radiografias periapicais, e o dente correspondente do lado oposto não apresentava lesão de reabsorção radicular. Os pacientes não apresentavam distúrbios sistêmicos que envolvam o metabolismo do cálcio e, em seus registros pré-tratamento, não exibiam alterações morfológicas, reabsorções radiculares, tratamento endodôntico ou histórico de trauma nos incisivos superiores e má oclusões assimétricas que levassem a protocolos de tratamento que envolvesse a aplicação de forças diferenciadas nos hemiarcos superiores. Além disso, os incisivos avaliados deveriam apresentar o mesmo comprimento nas imagens das radiografias periapicais de pré-tratamento.

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Juiz de Fora com o parecer nº 463/2008 (Anexo A), sendo que todos os indivíduos participaram voluntariamente e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice A) após a completa explicação dos procedimentos.

### 4.2 MÉTODO:

Todos os indivíduos foram submetidos ao exame de tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC), realizada com o tomógrafo i-CAT (Imaging Sciences International, Hatfield, PA – EUA), operado a 120kV e 3-8mA, voxel de 0,4 mm, tempo de rotação de 26,9s e um campo de visão de 160 mm de diâmetro e 100 mm de altura.

Para a aquisição das imagens no tomográfico, cada indivíduo foi posicionado sentado, com o queixo apoiado sobre o suporte apropriado, com o plano de Frankfurt paralelo ao solo e o plano sagital mediano perpendicular ao solo e estabelecida a oclusão dentária com a mandíbula em posição de máxima intercuspidação. O campo de visão foi posicionado de forma que o plano oclusal ocupasse o seu centro vertical e a espinha nasal anterior estivesse a 35 mm de sua borda anterior.

As imagens foram analisadas com o programa i-CAT Vision (Imaging Sciences International Inc., Hatfield, USA). No modo de visualização MPR (*multiplanar reconstruction*), utilizando espessura de corte de 0,5 mm, cada incisivo superior foi posicionado verticalmente de forma que a interseção entre os cortes sagital e coronal coincidissem com o longo eixo dentário e o corte coronal ficasse paralelo à borda incisal. As imagens de cada incisivo de todos os pacientes foram avaliadas de forma randomizada e cega, por dois examinadores calibrados (M.C. e B.P.), para determinar o comprimento radicular, a densidade radicular e a densidade do osso alveolar.

No corte sagital, o comprimento radicular de todos os incisivos foi determinado pela distância entre o ponto mais apical da raiz dentária e sua projeção ortogonal em uma linha perpendicular ao longo eixo dentário posicionada de forma equidistante às junções cimento-esmalte vestibular e lingual. Tendo o incisivo sem diagnóstico de RRA como referência, a extensão da reabsorção radicular foi determinada pela diferença entre o comprimento radicular dos incisivos sem e com reabsorção.

O objetivo do presente estudo foi avaliar os tecidos ósseo e dentário em regiões similares de cada paciente, previamente à determinação do terço apical dos incisivos sem RRA, cuja extensão da reabsorção radicular foi subtraída do seu comprimento radicular, descontada esta medida da região apical.

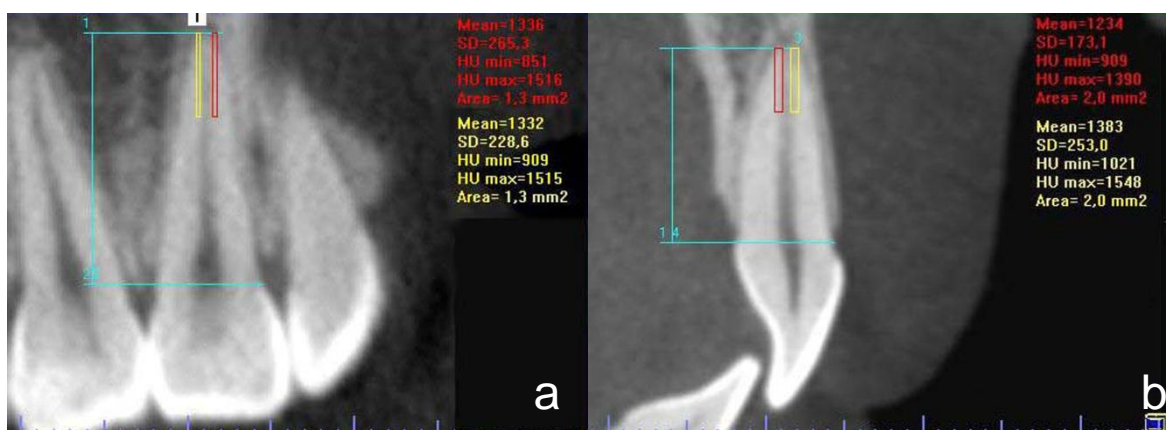
#### **4.2.1 Densidade mineral radicular (DMR):**

A DMR foi determinada pela média de quatro áreas de avaliação localizadas no terço apical radicular, duas áreas no corte coronal (direito e esquerdo – Figura 1a) e

duas áreas no corte sagital (vestibular e lingual – Figura 1b). As áreas foram delimitadas com a maior extensão possível, ficando restritas ao terço apical radicular e não invadindo as imagens referentes ao ligamento periodontal e à polpa dentária. As áreas localizadas no mesmo corte possuíam as mesmas dimensões.

#### 4.2.2 Densidade mineral do osso alveolar (DMO):

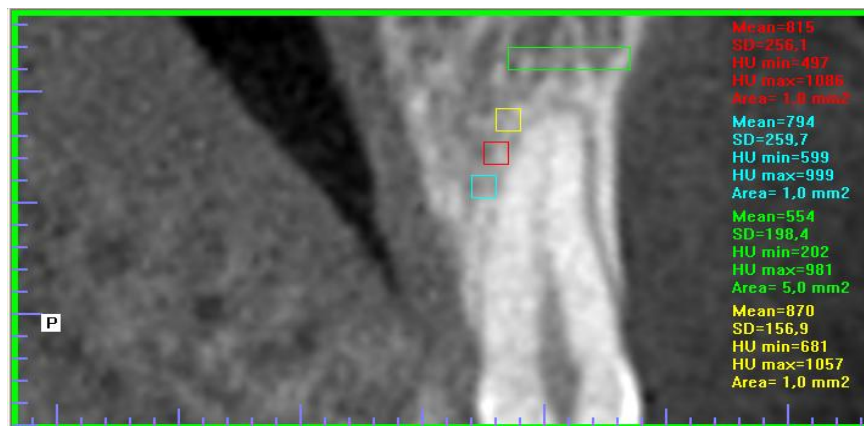
A DMO foi avaliada na mesma imagem do corte sagital usada para a avaliação da DMR de cada incisivo. Três áreas de 1x1 mm foram distribuídas verticalmente no osso lingual na região referente ao terço apical radicular (superior, média e inferior), todas posicionadas o mais anteriormente possível, limitadas pela imagem referente ao ligamento periodontal, sendo que a média dessas três áreas definiu a DMO lingual. A outra área de avaliação óssea, supra-apical, possuía 1 mm de altura e estendeu-se desde o osso cortical vestibular até 2 mm lingualmente ao centro do ápice radicular (Figura 2), e nos dentes sem RRA esta área foi posicionada imediatamente acima do ápice radicular, e nos dentes com RRA a mesma foi posicionada afastada do ápice à mesma distância que a extensão da reabsorção (Figura 3).



**Figura 1:** Determinação das áreas de avaliação da DMR nos cortes coronal (a) e sagital (b).



**Figura 2:** Determinação das áreas de avaliação da DMO em dentes sem RRA.



**Figura 3:** Determinação das áreas de avaliação da DMO em dentes com RRA.

#### 4.2.3 Análise estatística:

As confiabilidades intra e interexaminadores foram analisadas pela determinação do coeficiente de correlação intraclasse (CCI), calculado pelos valores de comprimento radicular, DMR e DMO de 15 incisivos escolhidos aleatoriamente, mensurados duas vezes pelos dois avaliadores, com intervalo de 15 dias, sendo que para a avaliação inter examinadores as segundas medidas de cada avaliador foram utilizadas.

A comparação dos valores do comprimento radicular, DMR e DMO lingual e supra-apical entre os incisivos com e sem diagnóstico de RRA foi realizado pelo teste de Wilcoxon. A análise estatística foi realizada com nível de significância de  $\alpha = 0,05$  e processada com o programa SPSS Statistics 17.0.0 (SPSS Inc., Chicago, USA).

## 5 CONCLUSÃO

Os incisivos superiores com RRA apresentaram densidade mineral radicular maior do que os seus correspondentes contra-laterais sem reabsorção radicular apical, indicando que a DM radicular não foi associada com a proteção da raiz contra o processo de reabsorção. O osso alveolar da região lingual não apresentou diferença significativa entre os dentes com e sem RRA, enquanto o osso alveolar supra apical exibiu valores significativamente maiores de DMO nos incisivos sem reabsorção radicular apical.

## REFERÊNCIAS

ALATLI, I.; HELLSING, E.; HAMMARSTRÖM, L. Orthodontically induced root resorption in rat molars after 1-hydroxyethylidene-1,1-bisphosphonate injection. **Acta Odontol Scand**, London, v. 54, no. 2, p. 102-8, Apr. 1996.

ANDREASEN, J.O. External root resorption: its implication in dental traumatology, paedodontics, periodontics, orthodontics and endodontics. **Int Endod J**, Oxford, v. 18, no. 2, p. 109-18, Apr. 1985.

ARANYARACHKUL, P.; CARUSO, J.; GANTES, B.; SCHULZ, E.; RIGGS, M.; DUS, I.; YAMADA, J.M.; CRIGGER, M. Bone density assessments of dental implant sites: 2. Quantitative cone-beam computerized tomography. **Int J Oral Maxillofac Implants**, Lombard, v. 20, no. 3, p. 416-24, May-Jun. 2005.

BECK, B.W.; HARRIS, E.F. Apical root resorption in orthodontically treated subjects: Analysis of edgewise and light wire mechanics. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 105, no. 4, p. 350-61, Apr.1994.

BENCH, R.W.; GUGINO, C.F.; HILGERS, J.J. Bio-Progressive therapy part 6 – forces used in Bio-Progressive Therapy. **J Clin Orthod**, Boulder, v. 12, no. 2, p. 123-39, Feb. 1978.

BLAKE, M.; WOODSIDE, D.G.; PHAROAH, M.J. A radiographic comparison of apical root resorption after orthodontic treatment with the edgewise and Speed appliances. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 108, no. 1, p.76-84, July 1995.

BREZNIAK, N.; WASSERSTEIN, A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 1. Literature review. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 103, no. 1, p. 62-6, Jan. 1993a.

BREZNIAK, N.; WASSERSTEIN, A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 2. Literature review. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St Louis, v. 103, no. 2, p. 138-46, Feb. 1993b.

BREZNIAK, N.; WASSERSTEIN, A. Orthodontically induced inflammatory root resorption. Part I. The basic science aspects aspects. **Angle Orthod**, Appleton, v. 72, no. 2, p. 175-9, Apr. 2002.

BRIDGES, T.; KING, G.; MOHAMMED, A. The effect of age on tooth movement and mineral density in the alveolar tissues of the rat. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 93, no. 3, p. 245-50, Mar. 1988.

BRIN, I.; TULLOCH, J.F.; KOROLUK, L.; PHILIPS, C. External apical root resorption in Class II malocclusion: a retrospective review of 1- versus 2-phase treatment. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 124, no. 2, p.151-6, Aug. 2003.

BRUDVIK, P.; RYGH, P. Root resorption beneath the main hyalinized zone. **Eur J Orthod**, Oxford, v. 16, no. 4, p. 249-63, Aug. 1994.

CHOI, J.H.; PARK, C.H.; YI, S.W.; LIM, H.J.; HWANG, H.S. Bone density measurement in interdental areas with simulated placement of orthodontic miniscrew implants. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 136, no. 6, p. 766.e1-12, Dec. 2009.

CONSOLARO, A. Movimentação dentária induzida: biologia aplicada à prática clínica. *In:\_\_\_\_\_*. **Reabsorções dentárias nas especialidades clínicas**. 2.ed. Maringá: Dental Press, 2005a. p. 303-52.

CONSOLARO, A. Reabsorções dentárias na movimentação ortodôntica. *In:\_\_\_\_\_*. **Reabsorções dentárias nas especialidades clínicas**. 2.ed. Maringá: Dental Press, 2005b. p. 353-402.

COPELAND, S.; GREEN, L.J. Root resorption in maxillary central incisors following active orthodontic treatment. **Am J Orthod**, St. Louis, v. 89, no. 1, p. 51-5, Jan. 1986.

COSTOPOULOS, G; NANDA, R. An evaluation of root resorption incident to orthodontic intrusion. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 109, no. 5, p. 543-8, May 1996.

DARENDELILER, M.A.; KHARBANDA, O.P.; CHAN, E.K.; SRIVICHARNKUL, P.; REX, T.; SWAIN, M.V.; JONES, A.S.; PETOCZ, P. Root resorption and its association with alterations in physical properties, mineral contents and resorption craters in human premolars following application of light and heavy controlled orthodontic forces. **Orthod Craniofac Res**, Oxford, v. 7, no. 2, p. 79-97, May 2004.

DUDIC, A.; GIANNOPOULOU, C.; LEUZINGER, M.; KILIARIDIS, S. Detection of apical root resorption after orthodontic treatment by using panoramic radiography and cone-beam computed tomography of super-high resolution. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 135, no. 4, p. 434-7, Apr. 2009.

FOO, M.; JONES, A.; DARENDELILER, M.A. Physical properties of root cementum: Part 9. Effect of systemic fluoride intake on root resorption in rats. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 131, no. 1, p. 34-43, Jan. 2007.

GOLDIE, R.S.; KING, G.J. Root resorption and tooth movement in orthodontically treated, calcium-deficient, and lactating rats. **Am J Orthod**, St. Louis, v. 85, no. 5, p. 424-30, May 1984.

GOLDIN, B. Labial root torque: effect on the maxilla and incisor root apex. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 95, no. 3, p. 208-19, Mar. 1989.

GOLDNER, M.T.A.; CAPELLI JR, J.; CARLINI, M.G.; SILVA, A.C.P. Avaliação da reabsorção radicular em dentes com tratamento endodôntico e submetidos a movimentação ortodôntica. **Rev SOB**, v. 4, no. 1, p. 14-9, 2002.

GOULTSCHIN, J.; NITZAN, D.; AZAZ, B. Root resorption. **Oral Surgery**, v. 54, no. 5, p. 586-90, 1982.

HARRIS, D.A.; JONES, A.S.; DARENDELILER, M.A. Physical properties of root cementum: part 8. Volumetric analysis of root resorption craters after application of controlled intrusive light and heavy orthodontic forces: a microcomputed tomography scan study. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 130, no. 5, p. 639-47, Nov. 2006.

HARRIS, E.F.; KINERET, S.E.; TOLLEY, E.A. A heritable component for external apical root resorption in patients treated orthodontically. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 111, no. 3, p. 301-9, Mar. 1997.

HARTSFIELD, J.K.; EVERETT, E.T.; AL-QAWASMI, R.A. Genetic factors in external apical root resorption and orthodontic treatment. **Crit Rev Oral Biol Med**, Boca Raton, v. 15, no. 2, p. 115-22, Jan. 2004.

HENDRIX, I.; CARELS, C.; KUIJPERS-JAGTMAN, A.M.; VAN'T HOF, M. A radiographic study of posterior apical root resorption in orthodontic patients. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 105, no. 4, p. 345-9, Apr. 1994.

HOLBERG, C.; STEINHAUSER, S.; GEIS, P.; RUDZKI-JANSON, I. Cone-beam computed tomography in orthodontics: benefits and limitations. **J Orofac Orthop**, Munchen, v. 66, no. 6, p. 434-44, Nov. 2005.

HORIUCHI, A.; HOTOKEZAKA, H.; KOBAYASHI, K. Correlation between cortical plate proximity and apical root resorption. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 114, no. 3, p. 311-8, Sept. 1998.

HSU, J.T.; CHANG, H.W.; HUANG, H.L.; YU, J.H.; LI, Y.F.; TU, M.G. Bone density changes around teeth during orthodontic treatment. **Clin Oral Investig**, Berlin, v. 15, no. 4, p. 511-9, Aug. 2010.

KALEY, J.; PHILLIPS, C. Factors related to root resorption in edgewise practice. **Angle Orthod**, Appleton, v. 61, no. 2, p. 125-32, June 1991.

KALKWAF, K.L.; KREJCI, R.F.; PAO, Y.C. Effects of apical root resorption on periodontal support. **J Prosthet Dent**, St. Louis, v. 56, p. 317-9, 1986.

KARADENIZ, E.I.; GONZALES, C.; NEBIOGLU-DALCI, O.; DWARTE, D.; TURK, T.; ISCI, D.; SAHIN-SAGLAM, A.M.; ALKIS, H.; ELEKDAG-TURK, S.; DARENDELILER, M.A. Physical properties of root cementum: Part 20. Effect of fluoride on orthodontically induced root resorption with light and heavy orthodontic forces for 4 weeks: A microcomputed tomography study. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 140, no. 5, p. e199-210, Nov. 2011.

KOOK, Y.A.; PARK, S.; SAMESHIMA, G.T. Peg-shaped and small lateral incisors not a higher risk for root resorption. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 123, no. 3, p. 253-8, Mar. 2003.

LAGRAVES, M.O.; CAREY, J.; BEN-ZVI, M.; PACKOTA, G.V.; MAJOR, P.W. Effect of object location on the density measurement and Hounsfield conversion in



a NewTom 3G cone beam computed tomography unit. **Dentomaxillofacial Radiol**, Houndsmills, v. 37, no. 6, p. 305-8, Sept. 2008.

LEVANDER, E.; MALMGREN, O. Evaluation of the risk of root resorption during orthodontic treatment: A study of upper incisors. **Eur J Orthod**, Oxford, v. 10, no. 1, p. 30-8, Feb. 1988.

LEVANDER, E.; MALMGREN, O. long-term follow-up of maxillary incisors with severe apical root resorption. **Eur J Orthod**, Oxford, v. 22, no. 1, p. 85-92, Feb. 2000.

LINGE, B.O.; LINGE, L. Apical root resorption in upper anterior teeth. **Eur J Orthod**, Oxford, v. 5, no. 3, p. 173-83, Aug. 1983.

LINGE, L.; LINGE, B.O. Patient characteristics and treatment variables associated with apical root resorption during orthodontic treatment. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 99, no. 1, p. 5-43, Jan. 1991.

LUND, H.; GRÖNDAHL, K.; GRÖNDAHL, H. Cone beam computed tomography for assessment of root length and marginal bone level during orthodontic treatment. **Angle Orthod**, Appleton, v. 80, no. 3, p. 466-73, May 2010.

LUPI, J.E.; HANDELMAN, C.S.; SADOWSKY, C. Prevalence and severity of apical root resorption and alveolar bone loss in orthodontically treated adults. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 109, no. 1, p. 28-37, Jan. 1996.

MAH, J.K.; DANFORTH, R.A.; 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**, St. Louis, v. 96, no. 4, p. 508-13, Oct. 2003.

MAH, P.; REEVES, T.E.; McDAVID, W.D. Deriving Hounsfield units using grey levels in cone beam computed tomography. **Dentomaxillofac Radiol**, Houndsmills, v. 39, no. 6, p. 323-35, Sept. 2010.

MALMGREN, O.; GOLDSON, L.; HILL, C.; ORWIN, A.; PETRINI, L.; LUNDBERG, M. Root resorption after orthodontic treatment of traumatized teeth. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 82, no. 6, p. 487-91, Dec. 1982.

MARQUEZAN, M.; LAU, T.C.; MATTOS, C.T.; CUNHA, A.C.; NOJIMA, L.I.; SANT'ANNA, E.F.; SOUZA, M.M.; ARAÚJO, MT. Bone mineral density. **Angle Orthod**, Appleton, v. 82, no. 1, p. 62-6, Jan. 2012.

McNAB, S. BATTISTUTTA, D.; TAVERNE, A.; SYMONS, A.L. External apical root resorption following orthodontic treatment. **Angle Orthod**, Appleton, v. 70, no. 3, p. 227-32, June 2000.

MIDGETT, R.J.; SHAYE, R.; FRUGE, J.F. Jr. The effect of altered bone metabolism on orthodontic tooth movement. **Am J Orthod**, St. Louis, v. 80, no. 3, p. 256-62, Sept. 1981.

MIRABELLA, A.D.; ÅRTUN J. Risk factors for apical root resorption of maxillary anterior teeth in adult orthodontic patients. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 108, no. 1, p. 48-55, Jan. 1995.

MISCH, C.E. Density of bone: effect on treatment plans, surgical approach, healing, and progressive bone loading. **Int J Oral Implantol**, Laurence, v. 6, no. 2, p. 23-31, 1990.

MOZZO, P.; PROCACCI, C.; TACCONI, A.; MARTINI, P.T.; ANDREIS, I.A. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. **Eur Radiol**, Berlin, v. 8, no. 9, p.1558-64, 1998.

NANCE, R.S.; TYNDALL, D.; LEVIN, L.G.; TROPE, M. Diagnosis of external root resorption using TACT (tuned-aperture computed tomography). **Endod Dent Traumatol**, Copenhagen, v. 16, no. 1, p. 24-8, Feb. 2000.

NEWMAN, W.G. Possible etiologic factors in external root resorption. **Am J Orthod**, St. Louis, v. 67, no. 5, p. 522-39, May 1975.

OPPENHEIM, A. Biologic orthodontic therapy and reality. **Angle Orthod**, Appleton, v. 6, no. 3, p. 153-83, July 1936.

OTIS, L.L.; HONG, J.S.H.; TUNCAY, O.C. Bone structure effect on root resorption. **Orthod Craniofac Res**, Oxford, v. 7, no. 3, p. 165-77, Aug. 2004.

OWMAN-MOLL, P.; KURROL, J.; LUNDGREN, D. Repair of orthodontically induced root resorption in adolescents. **Angle Orthod**, Appleton, v. 65, no. 6, p. 403-10, Dec. 1995.

OYAMA, K.; MOTOYOSHI, M.; HIRABAYASHI, M.; HOSOI, K.; SHIMIZU, N. Effects of root morphology on stress distribution at the root apex. **Eur J Orthod**, Oxford, v. 29, no. 2, p.113-7, Apr. 2007.

PARKER, R.J.; HARRIS, E.F. Directions of orthodontic tooth movement associated with external apical root resorption of the maxillary central incisor. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 114, no. 6, p. 677-83, Dec. 1998.

PHILLIPS, J.R. Apical root resorption under orthodontic therapy. **Angle Orthod**, Appleton, v. 21, no. 1, p. 1-22, Jan. 1955.

PROFFIT, W.R. As bases biológicas da terapia ortodôntica. *In*: PROFFIT, W.R.; FIELDS, H.W.; SARVER, D.M. **Ortodontia Contemporânea**. 4.ed. São Paulo: Elsevier, 2007, p.307-32.

QUINN, R.S.; YOSHIKAWA, D.K. A reassessment of force magnitude in orthodontics. **Am J Orthod**, St. Louis, v. 88, no. 3, p. 252-60, Sept. 1985.

REITAN, K. Initial tissue behavior during apical root resorption. **Angle Orthod**, Appleton, v. 44, no. 1, p.68-82, Jan. 1974.

REMINGTON, D.N.; JOONDEPH, D.R.; ARTUN, J.; RIEDEL, R.A.; CHAPKO, M.K. Long-term evaluation of root resorption occurring during orthodontic

treatment. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 96, no. 1, p. 43-6, July 1989.

ROBERTS, W.E.; ARBUCKLE, G.R.; ANALOUI, M. Rate of mesial translation of mandibular molars using implant-anchored mechanics. **Angle Orthod**, Appleton, v. 66, no. 5, p. 331-8, Oct. 1996.

RYGH, P. Orthodontic root resorption studied by electron microscopy. **Angle Orthod**, Appleton, v. 47, no. 1, p. 1-16, Jan. 1977.

RYGH, P.; REITAN, K. Ultrastructural changes in the periodontal ligament incident to orthodontic tooth movement. **Trans Eur Orthod Soc**, London, p. 393-405, 1972.

SAMESHIMA, G.T.; SINCLAIR, P.M. Predicting and preventing root resorption: part I. Diagnostic factors. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 119, no. 5, p. 505-10, May 2001.

SAMESHIMA, G.T.; SINCLAIR, P.M. Characteristics of patients with severe root resorption. **Orthod Craniofac Res**, Oxford, v. 7, no. 2, p. 108-14, May 2004.

SANTIAGO, R.C.; VITRAL, R.W.F.; ASSIS, N.M.S.P.; FRAGA, M.R. Correlation between orthodontic miniscrews stability and bone mineral density in orthodontic patients. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 136, no. 2, p. 243-50, Aug. 2009.

SCARFE, W.C.; FARMAN, A.G.; SUKOVIC, P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. **J Can Dent Assoc**, Ottawa, v. 72, no. 1, p. 75-80, Feb. 2006.

SCHWARZ, A.M. Tissue changes incident to tooth movement. **Int J Orthod Oral Surg**, St. Louis, v. 18, p. 331-52, 1932.

SCHWARZ, M.S.; ROTHMAN, S.L.; RHODES, M.L.; CHAFETZ, N. Computed tomography: Part I. Preoperative assessment of the mandible for endosseous implant surgery. **Int J Oral Maxillofac Implants**, Lombard, v. 2, no. 3, p. 137-41, Summer 1987.

SEGAL, G.R.; SCHIFFMAN, P.H.; TUNCAY, O.C. Meta analysis of the treatment-related factors of external apical root resorption. **Orthod Craniofac Res**, Oxford, v. 7, no. 2, p. 71-8, May 2004.

SMALE, I.; ÅRTUN, J.; BEHBEHANI, F.; DOPPEL, D.; VAN'T HOF, M.; KUIJPERS-JAGTMAN, A.M. Apical root resorption 6 months after initiation of fixed orthodontic appliance therapy. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 128, no. 1, p. 57-67, July 2005.

SWENNEN, G.R.; SCHUTYSER, F.; BARTH, E.L.; 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**, Burlington, v. 17, no. 2, p. 314-25, Mar. 2006.

VELVART, P.; HECKER, H.; TILLINGER, G. Detection of the apical lesion and the mandibular canal in conventional radiography and computed tomography. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, St. Louis, v. 92, no. 6, p. 682-8, Dec. 2001.

WAINWRIGHT, W.M. Faciolingual tooth movement: its influence on the root and cortical plate. **Am J Orthod**, St. Louis, v. 64, no. 3, p. 278-302, Sept. 1973.

WELTMAN, B.; VIG, K.W.; FIELDS, H.W.; SHANKER, S.; KAIZAR, E.E. Root resorption associated with orthodontic tooth movement: a systematic review. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 137, no. 4, p. 462-76, Apr. 2010.

WESTPHALEN, V.P.D. **Comparação da eficácia dos métodos radiográficos convencional e digital no diagnóstico de reabsorções radiculares externas simuladas, em função de examinadores e tamanhos de cavidades**. São Paulo, 2002. 127f. [Tese de Doutorado em Endodontia – Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo].

WESTPHALEN, V.P.D. **Estudo radiográfico das reabsorções radiculares externas em cavidades artificiais de dentes humanos**. Florianópolis, 1998. 86f. [Dissertação de Mestrado em Endodontia – Universidade Federal de Santa Catarina].

## APÊNDICE

### APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**  
 PRO-REITORIA DE PESQUISA  
 COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA-CEP/UFJF  
 36.36-900 – JUIZ DE FORA – MG – BRASIL

Programa de Pós Graduação em Saúde – Faculdade de Medicina da UFJF  
 Pesquisador responsável: Marcio José da Silva Campos  
 Endereço: Rua Guaçuí, 530/204, São Mateus  
 CEP: 36.025-190 – Juiz de Fora – MG  
 e-mail: drmarciocampos@hotmail.com

#### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

O Sr (a) está sendo convidado (a) como voluntário (a) a participar da pesquisa “Avaliação da densidade mineral óssea e radicular de incisivos superiores com e sem diagnóstico de reabsorção radicular apical em indivíduos submetidos a tratamento ortodôntico”, que tem como objetivo avaliar e comparar a densidade mineral, através de tomografia computadorizada de feixe cônico, da estrutura dentária do terço radicular apical e do osso alveolar adjacente de incisivos superiores com e sem o diagnóstico de reabsorção radicular apical radiograficamente detectada, em indivíduos submetidos ao tratamento ortodôntico.

Para esta pesquisa serão utilizados 30 pacientes selecionados a partir do diagnóstico de lesão de reabsorção radicular apical em um incisivo superior através de radiografia periapical de controle. Após o diagnóstico, os pacientes serão submetidos ao exame de tomografia computadorizado de feixe cônico para avaliação da densidade mineral dos tecidos dentário e ósseo.

Para participar deste estudo você não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Você será esclarecido (a) sobre o estudo em qualquer aspecto que desejar e estará livre para participar ou não. Poderá retirar seu consentimento ou interromper a participação a qualquer momento. Sua participação é voluntária e a recusa em participar não acarretará qualquer penalidade ou modificação na forma em que é atendido pelo pesquisador.

O pesquisador irá tratar sua identidade com padrões profissionais de sigilo. Os resultados da pesquisa estarão à sua disposição quando finalizada. Seu nome ou o material que indique sua participação não será liberado sem a sua permissão. O(A) Sr.(a) não será identificado em nenhuma publicação que possa resultar deste estudo.

Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias, sendo que uma cópia será arquivada pelo pesquisador responsável, no Curso de Especialização em Ortodontia da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Juiz de Fora, e a outra fornecida a você.

Eu, \_\_\_\_\_, portador do documento de identidade \_\_\_\_\_ fui informado(a) dos objetivos do estudo “Avaliação da densidade mineral óssea e radicular de incisivos superiores com e sem diagnóstico de reabsorção radicular apical em indivíduos submetidos a tratamento ortodôntico”, de maneira clara e detalhada e esclareci minhas dúvidas. Sei que a qualquer momento posso solicitar novas informações e modificar minha decisão de participar se assim o desejar.

Declaro que concordo participar deste estudo. Recebi uma cópia deste termo de consentimento livre e esclarecido e me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas.

Juiz de Fora, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_ .

---

Nome	Assinatura do participante	Data
------	----------------------------	------

---

Nome	Assinatura do pesquisador	Data
------	---------------------------	------

---

Nome	Assinatura da testemunha	Data
------	--------------------------	------

Em caso de dúvidas a respeito dos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar o CEP – COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA/UFJF, no CAMPUS UNIVERSITÁRIO, na PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, fone: (32) 3220-3788.

## ANEXOS

## ANEXO A – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
PRO-REITORIA DE PESQUISA  
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - CEP/UFJF  
36036900- JUIZ DE FORA - MG – BRASIL

## Parecer nº «463/2008»

Protocolo CEP-UFJF: 1635.325.2008 FR: «235213» CAAE: «0280.0.180.000-08»

Projeto de Pesquisa: "Avaliação, em tomografia computadorizada de feixe cônico, da densidade mineral e da superfície radicular dentária em indivíduos com reabsorção radicular submetidos a tratamento ortodôntico"

Pesquisador Responsável: Robert W. F. Vitral

Pesquisadores Participantes: Márcio José da Silva Campos, Andréia Fialho Rodrigues

Instituição: Faculdade de Odontologia da UFJF

Sumário/comentários

O CEP analisou o projeto e considerou que:

- Justificativa: A reabsorção radicular associada ao tratamento ortodôntico é reconhecida como um problema clínico desde 1920, mas apenas recentemente foi entendido que algum grau de reabsorção ocorre em quase todos os pacientes. A remodelação do cimento e da dentina ocorre em algumas raízes quando forças ortodônticas são aplicadas. Entretanto o cimento é reconstituído durante períodos de remissão da força, tornando difícil a detecção do encurtamento radicular. Em um número pequeno de pacientes uma redução radiograficamente evidenciada das raízes ocorre em alguns dentes, sendo os incisivos superiores os mais susceptíveis a reabsorções severas, com outros dentes sendo menos afetados. A determinação da densidade mineral através da tomografia computadorizada tem sido utilizada para avaliação da qualidade de estruturas mineralizadas. Ao final de todo tratamento ortodôntico tem-se como protocolo a solicitação de uma documentação ortodôntica para avaliação dos resultados dos tratamentos. Dentre estes exames encontram-se as radiografias periapicais de todos os dentes. O custo biológico vinculado à exposição do paciente à radiação deve ser considerado para a substituição de diversas tomadas radiográficas convencionais pela tomografia computadorizada de feixe cônico, agregando ainda informações em profundidade das estruturas avaliadas.
- Objetivo: Aprofundar o conhecimento na área que relaciona movimento ortodôntico, reabsorção radicular e tomografia computadorizada de feixe cônico; Atender com maior eficiência os pacientes de Ortodontia que apresentam reabsorção radicular; Publicar este trabalho em revista especializada.
- Objetivos específicos:
  - \*Avaliar a relação entre reabsorção radicular apical constatada em radiografia periapical e a presença/extensão de áreas de reabsorção radicular nas superfícies vestibular, palatina, mesial e distal em pacientes submetidos ao tratamento ortodôntico;
  - \*Avaliar a existência de relação entre densidade mineral dentária e presença de reabsorção radicular apical em pacientes submetidos ao tratamento ortodôntico.
- Metodologia: Os pacientes serão submetidos ao exame de tomografia computadorizada de feixe cônico. Os indivíduos deverão ser posicionados no tomógrafo de modo que suas cabeças estejam posicionadas com o plano de Frankfort paralelo e o plano sagital mediano perpendicular ao solo, e orientados a estabelecer oclusão dentária com a mandíbula em posição de máxima intercuspidação.
- Revisão e referências sustentam o objetivo do estudo.
- Características da população a estudar: A amostra será constituída de 30 pacientes (15 do sexo masculino e 15 do sexo feminino), entre 15 e 25 anos de idade, em tratamento no Curso de Especialização em Ortodontia da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Juiz de Fora e que estejam em fase de finalização do tratamento ortodôntico. Todos os indivíduos da amostra deverão apresentar: presença de reabsorção radicular apical envolvendo pelo menos um terço do comprimento radicular, em um ou dois incisivos superiores, sendo que o dente correspondente ao lado oposto não pode apresentar reabsorção\*; ausência de história de traumatismo nos incisivos superiores; ausência de distúrbios sistêmicos que envolvam o metabolismo do cálcio. Além disso, os pacientes deverão apresentar previamente ao tratamento (a ser verificado na documentação inicial do paciente exigida como protocolo para início de tratamento no Curso de Especialização em Ortodontia da FO-UFJF): ausência de reabsorção radicular; ausência de má oclusões assimétricas que levem à protocolos de tratamento cuja a aplicação de forças seja diferenciada nas hemi-arcadas superiores; simetria morfológica das raízes dos incisivos superiores.\* - a presença da reabsorção radicular apical será diagnosticada através de radiografias periapicais realizadas semestralmente como controle durante o tratamento ortodôntico.
- Orçamento apresenta-se detalhado e subentende-se a responsabilidade do autor da pesquisa.
- Cronograma está de acordo e estima-se iniciar em janeiro de 2010 e terminar em dezembro de 2011.
- Identificação dos riscos e desconfortos possíveis e benefícios esperados estão devidamente expostos aos voluntários.
- Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE, está em linguagem adequada, clara para compreensão do sujeito, descrição suficiente dos procedimentos, explicitação de riscos e desconfortos esperados, ressarcimento de despesas, indenização diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa, informa o sujeito da pesquisa sobre reações adversas, forma do sujeito fazer contatos com o pesquisador informando que está de acordo com a Res. 196/96 CNS.
- Qualificação do pesquisador está de acordo com a pesquisa
- Salientamos que o pesquisador deverá encaminhar a este comitê o relatório final da pesquisa.

Diante do exposto, o Comitê de Ética em Pesquisa – CEP/UFJF, de acordo com as atribuições definidas na Res. CNS 196/96, manifesta-se pela aprovação do protocolo de pesquisa proposto.

Situação: Projeto Aprovado  
Juiz de Fora, 18 de dezembro de 2008

  
Prof. Dra. Iêda Maria Vargas Dias  
Coordenadora – CEP/UFJF

<b>RECEBI</b>
DATA: ____/____/2008
ASS: _____

**ARTIGO: “The role of orthodontic tooth movement in bone and root mineral density: a study of patients submitted and not submitted to orthodontic treatment”** (Pesquisa desenvolvida juntamente com os bolsistas Elisa Gomes de Albuquerque, Bernardo Caixeiro Hauck Pinto e Hélio Moreira Hungaro do Curso de Graduação da Faculdade de Odontologia da UFJF).

We are glad to inform you that your manuscript titled The role of orthodontic tooth movement in bone and root mineral density: a study of patients submitted and not submitted to orthodontic treatment. after a positive review has been ACCEPTED FOR publication in the **Medical Science Monitor**.

Thank you for selecting Medical Science Monitor for publishing results of your investigations. You would receive both the galley proof and the invoice soon.

We would like also to encourage you to send the short video file (up to 2 minutes) with your introduction/comment to your publication. This new feature is becoming more popular among our authors and give an additional opportunity to introduce yourself to the audience.

Just record a short video file on an ordinary consumer camcoder and upload the file via your MSM author's account.

Sincerely yours,

iza.pranga@isl-science.com, b.kopak@isl-science.com



## The role of orthodontic tooth movement in bone and root mineral density: a study of patients submitted and not submitted to orthodontic treatment

Marcio José da Silva Campos  
Elisa Gomes de Albuquerque  
Bernardo Caixeiro Hauck Pinto  
Hélio Moreira Hungaro  
Marco Abdo Gravina  
Marcelo Reis Fraga  
Robert Willer Farinazzo Vitral

### ABSTRACT

*Background:* Orthodontic force application to the teeth is responsible for a series of biological responses in the bone and dentin, which lead to some alterations of the mineral density of the tissues. Our objective was determine, through cone-beam computed tomography (CBCT), the mineral density of the apical third of the roots of the upper central incisors and of the periapical bone portion surrounding these teeth, in patients submitted to orthodontic treated and untreated individuals. *Material and Methods:* 30 untreated individuals and 15 treated ones (treatment cessation at least 1 year before the study) underwent CBCT. Mineral density was assessed in the apical third of the root of the upper central incisors and in the alveolar bone in the periapical region of these teeth. In order to reduce CBCT-related mineral density variability we standardized the cone-beam tomography device, the image-acquisition settings and the field of view positioning and size. Student's t-test was used for the analyses. *Results:* bone mineral density (BMD) and root mineral density (RMD), in Hounsfield Units were 674.84 and 1282.26 for the untreated group and 630.28 and 1370.29 for the treated group, respectively. The differences between the group means were statistically significant for RMD ( $p < 0.05$ ). *Conclusion:* untreated individuals had a significant lower mean RMD in comparison with those submitted to orthodontic treatment.

Bone density; Cone-beam computed tomography; Tooth movement;

### Background

Orthodontic force application to the teeth is responsible for a series of biological responses in the bone tissue, which lead to bone modeling and remodeling, allowing tooth movement<sup>1</sup>. The resulting neofomed bone has a low degree of mineralization<sup>2,3</sup>, with short-term reduction of the mineral density of the tooth-surrounding alveolar bone<sup>4</sup>, which may impair its structural resistance<sup>5</sup>.

Besides causing obvious structural changes in the bone tissue, animal studies have shown orthodontic movement to have effects on the dental tissue, causing odontoblast activation<sup>6</sup> and increased dentin mineralization<sup>6,7</sup>. Such tissue reactions maybe due to the presence of specific proteins (dentin matrix protein 1 - DMP1, and dentin sialophosphoprotein - DSPP), which have their levels upregulated by mechanical stress<sup>8,9</sup>. Once such proteins are present in dentin and bone<sup>6,8</sup>, mineralization of these two tissues may be likewise influenced by mechanical perturbations<sup>7,10,11</sup>.

Alveolar bone mineral density is already associated with the formation of areas of hyalinization and root resorption units during orthodontic treatment<sup>12,13</sup>. Although this process might also be influenced by the degree of mineral density of the roots<sup>14</sup>, there is a lack of studies investigating this issue.

Computed tomography (CT) and cone beam computed tomography (CBCT) scanners are the most frequently used instruments to assess the mineral density of the craniofacial bone structures<sup>4,15-19</sup>. However, because the intensity values of CBCT images are influenced by the scanning device, image-acquisition settings and positioning<sup>20</sup>, these variables should be controlled for in order to guarantee the reliability of the results.

The purpose of this controlled study was to assess the degree of mineral density of the apical third of the roots of upper central incisors and of the periapical bone, through CBCT images, comparing orthodontically treated and untreated subjects.

## **Material and Methods**

Forty-five adult subjects were included in this study. They were consecutively selected from a postgraduate orthodontic program of the Juiz de Fora Federal University. They were divided into two groups: untreated group (15 male, 15 female; mean age 23.1 years), which had not undergone orthodontic treatment; and treated group (7 male, 8 female; mean age 22.8 years), which had finished their orthodontic treatment at least 1 year (mean time 6.52 years) prior to the study. All had a full permanent dentition (with the exception of the 3<sup>rd</sup> molars) and no endodontic treatment in the teeth examined, root resorption, history of injury to the upper central incisors or any kind of bone pathology.

This study was approved by the Human Research Ethics Committee of the Juiz de Fora Federal University.

Mineral density of the roots of the upper central incisors and the alveolar bone was calculated from CBCT images. The CBCT images were obtained with i-CAT (Imaging Sciences International Inc., Hatfield, USA), using a 160 mm diameter and 100 mm height field of view (FOV). The nominal beam was 120 kV and 3-8 mA, with 26.9 s rotation time. A voxel size of 0.4 mm was used. The individual's head was aligned with a chin rest and laser lines, with the Frankfurt plane parallel to the floor and the median sagittal plane perpendicular to the floor. As for FOV positioning, the occlusal plane was positioned in its vertical center and the anterior nasal spine 35mm from its anterior surface.

The images were analyzed with the i-CAT Vision (Imaging Sciences International Inc., Hatfield, USA) software, with 0.5 mm-thick slices. At MPR viewing modality, each upper central incisor was positioned vertically, so that the intersection of the sagittal and coronal sections coincided with its long central axis, with the coronal section parallel to the incisal border (Figure 1). In the sagittal section, the root length was measured as the distance between the most apical point of the root and the middle point of the vestibular and lingual cementum-enamel junctions.

One calibrated investigator (B.P.) randomly and blindly assessed the CBCT images of all patients, and determined the bone and root mineral densities.

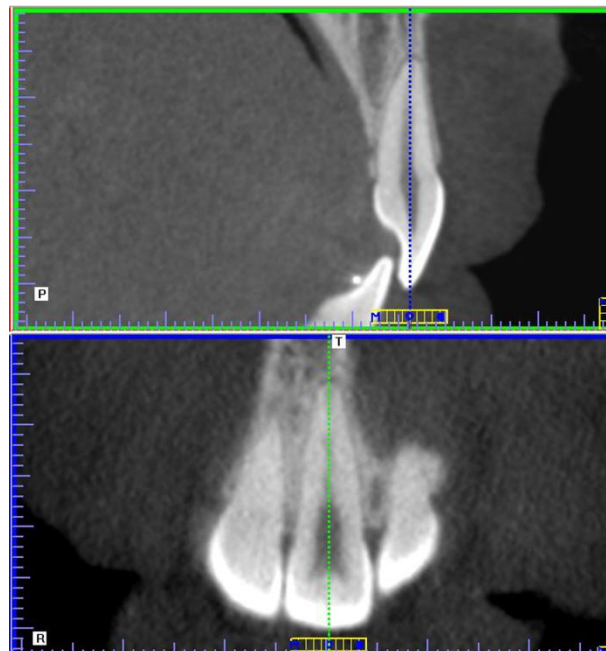


Figure 1: Sagittal and coronal sections of the upper central incisor.

*Determination of the root mineral density (RMD):*

The RMD was determined as the mean of 4 regions of interest (ROI) within the apical third of the roots, two areas in the coronal section (right and left – Figure 2) and two areas in the sagittal section (vestibular and lingual – Figure 3), encompassing as large an area as possible, but without impinging on the images corresponding to the periodontal ligament and the pulp. The areas in each section had the same dimensions.



Figure 2: Outline of the areas in which the RMD was determined at coronal section.

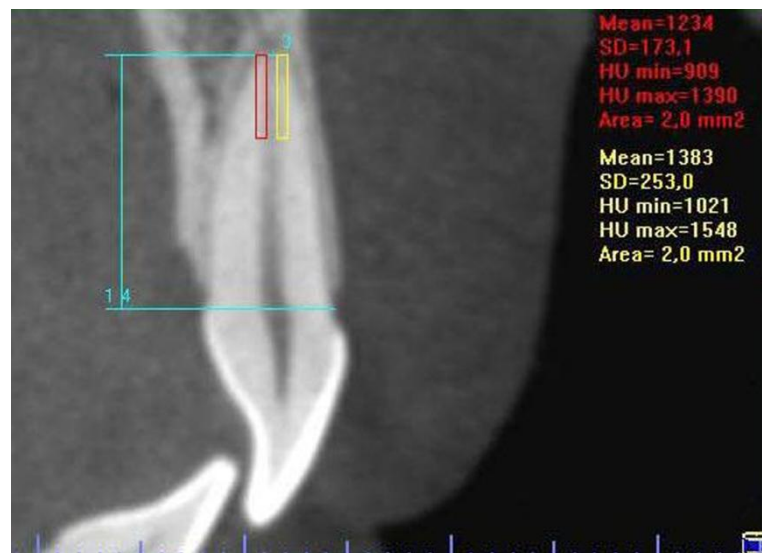


Figure 3: Outline of the areas in which the RMD was determined at sagittal section.

*Determination of the alveolar bone mineral density (BMD):*

BMD was determined in the same sagittal section used for RMD assessment for each tooth. BMD was determined as the mean density of four regions of interest (ROI) at the alveolar bone, three 1x1mm areas located on the lingual side of the apical third of the root (superior, middle and inferior) and another 1mm-high supra-apical area, localized above the root apex, extending from the vestibular cortical wall to 2mm lingual to the apex center (Figure 4).

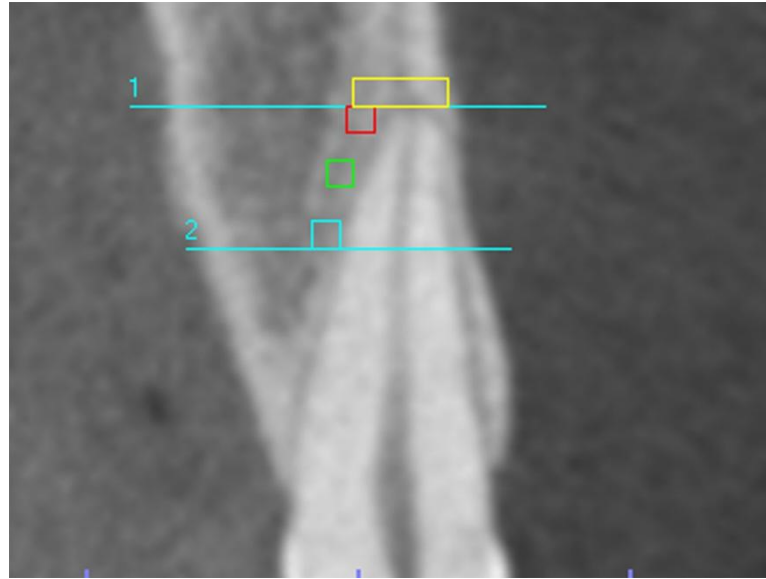


Figure 4: Sagittal section showing the apical and supra-apical areas, where the bone mineral density was determined.

*Determination of reference areas:*

Although this was a controlled study, palatal bone areas were assessed in order to compare the MD of similar structures not affected by orthodontic movement, in both groups, as well as to assess the reliability of the measurements of symmetrical areas from the same individuals.

Likewise, the MD of bone areas not influenced by tooth movement or occlusal stress were assessed in order to compare similar structures of the two groups, as well as to assess the reliability of the measurements of symmetrical areas of the same individuals.

The BMD of 8 reference areas in the maxilla, 4 on each side, symmetrically positioned in the anteroposterior and mediolateral directions, was assessed. The maxilla was initially positioned with the axial and sagittal planes intersecting the anterior and posterior nasal

spines. Afterwards, the lowermost axial section, where the posterior wall of the incisal foramen could be visualized, was selected. Coronal views of the maxilla were selected at 4 and 6 mm posterior to the distal wall of the incisal foramen, and the BMD was measured in four 3mm-wide areas in each coronal views, 1.5 and 4.5mm lateral to the midline, on both sides (Figure 5). The upper and lower limits of the areas were defined by the cortical bone.

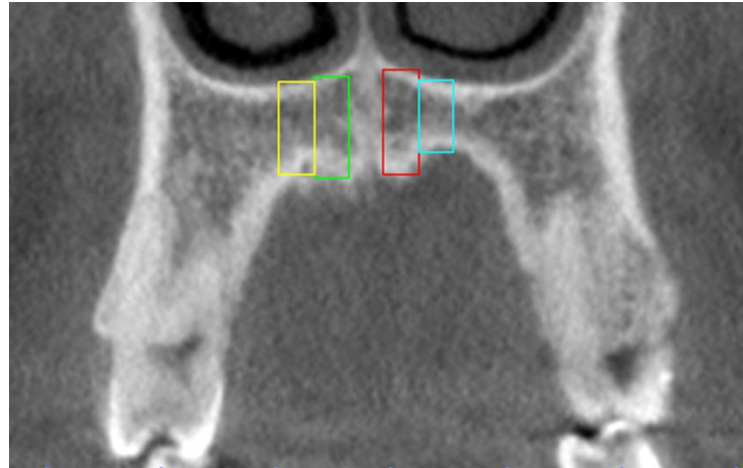


Figure 5: Coronal view of the references areas of maxilla.

#### *Statistical analysis*

Intrarater agreement values of BMD of alveolar and reference areas and RMD measurements were examined by intraclass correlations (ICC), being based on 15 randomly chosen incisors, which were measured twice, with an interval of 15 days.

Due to the different size of the two groups, the normality of the variables was tested with the Shapiro-Wilk's test for the treated group and with Kolmogorov-Smirnov's test for the untreated group. All variables of the two groups exhibited a normal distribution. Additionally, the homoscedasticity of the variables was tested with Levene's test for the treated and the untreated groups.

Comparison of the BMD values of reference and alveolar areas between left and right sides, for each group, was undertaken with Student's dependent t-test, the independent t-test being used for between-group comparison. For RMD values, Student's dependent t-test was used to compare the left and right sides, the independent t-test being used for between-group comparison. Mann-Whitney's test was used to confirm the results of the parametric test for between-group comparison.

The statistical analysis was made with  $\alpha = .05$  significance level and processed with the SPSS Statistics 17.0.0 (SPSS Inc., Chicago, USA) software.

## Results

Intrarater agreement values of BMD (reference and alveolar areas) and RMD from the CBCT measurements were over 0.9, showing excellent agreement<sup>21</sup>.

The BMD mean values of the reference areas of treated and untreated individuals, and the comparison between the right and left sides and between the groups are shown in Table 1.

**Table 1: Mean values and comparison of reference areas between right and left sides and treated and untreated groups.**

		Untreated (N = 30)			Treated (N = 15)			P(t-test) Right	P (t-test) Left
		Right Mean (SD)	Left Mean (SD)	P (t-test)	Right Mean (SD)	Left Mean (SD)	P (t-test)		
4 mm	1.5 mm laterally	622,6 (153,7)	618,1 (147,1)	0.793	583,8 (155,2)	604,6 (133,1)	0.463	0.430	0.766
	4.5 mm laterally	655,1 (151,6)	640,3 (136,1)	0.398	610,1 (203,1)	633,4 (201,1)	0.151	0.408	0.896
6 mm	1.5 mm laterally	597,9 (179,1)	636,4 (153,7)	0.090	595,0 (179,8)	603,2 (138,1)	0.746	0.959	0.484
	4.5 mm laterally	650,9 (161,9)	688,5 (163,1)	0.010*	633,2 (172,3)	643,4 (124,7)	0.792	0.738	0.353

\*significant difference between right and left sides.

The reference bone areas in the maxilla showed a significant difference ( $p = .010$ ) only between the 4.5mm right and left areas in the 6mm section of the untreated group. For all the other comparisons, between right and left sides and treated and untreated groups, there was no statistically significant difference.

Table 2 shows the mean values of BMD and RMD of treated and untreated individuals, and the comparison between groups.

**Table 2: Mean values and comparison between right and left sides and treated and untreated groups.**

	Untreated (N = 30)			Treated (N = 15)			P (t-test)	Mean of sides Mean (SD)	P (t-test)
	Right incisor Mean (SD)	Left incisor Mean (SD)	P (t-test)	Right incisor Mean (SD)	Left incisor Mean (SD)	P (t-test)			
BMD	673.05 (122.18)	676.63 (111.27)	0.805	674.84 (109.99)	635.27 (111.95)	625.28 (134.34)	0.751	630.28 (108.26)	0.205
RMD	1280.28 (92.61)	1284.25 (85.5)	0.660	1282.26 (85.72)	1369.06 (58.82)	1371.5 (58.71)	0.788	1370.29 (56.17)	0.001*

\*significant difference between groups.

The mean values for BMD and RMD were 674.84 and 1282.26 for the untreated group and 630.28 and 1370.29 for the treated one, respectively. A Significant difference was observed between the groups only for RMD values ( $p < .05$ ).

Descriptive statistics suggested that BMD and RMD variances might differ between the groups, Levene`s test being necessary for homoscedasticity verification. The groups did not significantly differ as for BMD variance ( $p = .754$ ), whereas there was a significant difference as for RMD variance ( $p = .037$ ). When Mann-Whitney`s non-parametric test was used to verify the between-group RMD difference, the result was similar to the one obtained with the t test ( $p = 0.002$ ), thus indicating a significant difference between the groups.

## Discussion

The forces resulting from the action of orthodontic appliances move irregular teeth to better positions and produce mechanical stimuli that trigger biological responses which, in turn, lead to bone modeling and remodeling. While modeling is the sculpting mechanism that uses the raw materials of bone growth to shape structures, remodeling is the mechanism involving lifelong skeletal turnover and maintenance<sup>1</sup>. Because such bone responses are difficult to observe<sup>4</sup>, only few experimental studies in animals<sup>10,22-25</sup> and clinical short-term studies<sup>4,26</sup> are available, pointing to the need of greater investigation of the effects of tooth movement on the alveolar bone.

Hsu *et al.*<sup>4</sup> and Chang *et al.*<sup>26</sup> found a 24% BMD reduction around the teeth of the anterior maxilla in eight patients investigated 7 months after orthodontic treatment. The results of this study indicated that the BMD of the closely root-associated alveolar bone of the orthodontically-moved upper central incisors did not differ from the BMD of the untreated group. This difference may be related to the post-treatment assessment time (mean 6.52 years), because a long period is necessary for bone recovery and mineralization after tooth movement<sup>27</sup>, which allows the BMD to return to baseline (before tooth movement) values. The fact that the groups did not have a significant difference in the BMD of the maxillary reference areas suggests that the influence of tooth movement on bone quality is limited to a certain period of time after treatment.

In contrast with the BMD, the patients who had undergone orthodontic treatment had significantly higher RMD values than untreated patients. Although orthodontics-related alterations in the dentin surface, with increased mineralization rate, had already been reported<sup>7,10,11</sup>, effects on the dentin matrix had not.



Dentin matrix has a peculiar morphology, being composed of 1-2  $\mu\text{m}$  diameter tubules surrounded by a hypermineralized layer called peritubular dentin, and of a softer intertubular matrix, where the organic material concentrates as collagen fibrils and noncollagenous proteins<sup>28</sup>.

Two proteins, DMP1 and DSPP are responsible for similar structural alterations in the dentin matrix and surface, being present in predentin, odontoblasts and dentinal tubules<sup>6,8</sup>. These proteins are thought to play key biological roles in the mineralization of dentin because they are prominent in this mineralized tissue and are secreted into the extracellular matrix of dentin during formation and mineralization<sup>29,30</sup>. DMP1 and DSPP expression and levels are increased by mechanical stress<sup>8,9</sup>, which may account for not only the increased dentin mineralization rate<sup>7,10,11</sup>, but also for the increased mineral density of the peritubular extracellular matrix during tooth movement, because of acceleration of dentin mineralization<sup>6</sup>. Such structural alteration enhances biomechanical function, allowing a tougher foundation which helps to prevent propagation of cracks from the brittle enamel<sup>28,31</sup>.

DMP1 and DSPP are also expressed by osteocytes, being involved in the development and/or maintenance of bone tissue and responding to mechanical stress as happens in dentin<sup>6,8</sup>. Yet, significant BMD increases were not observed, probably due to the complete bone renewal during tooth movement, with resorption alongside the movement direction and deposition in the opposite direction.

Mineral density determination is the best indicator for the quality of mineralized tissues<sup>5</sup>, and CBCT has been proposed as a low-radiation-dose method for achieving such purpose<sup>4,32</sup>, because the density evaluated shows a linear relationship with the attenuation coefficients of the materials<sup>33</sup> and HU values obtained with medical CT<sup>32,34</sup> and DEXA<sup>35</sup>.

However, the arbitrary gray levels and artifacts displayed in CBCT systems do not allow the assessment of bone quality, which can be performed with HU in medical CT<sup>36</sup>. Such instability of gray levels was associated with different imaging devices<sup>20,33,37</sup>, image-acquisition settings<sup>33</sup>, positioning of the object in the FOV<sup>20,38</sup>, the mass presented outside the FOV (dubbed the exo-mass)<sup>37-39</sup>, the mass in the slice (inside and outside the FOV)<sup>38</sup> and the size of FOV<sup>39</sup>. Controlling for these variables has thus become essential for measurements of mineral density in CBCT images.

All patients, treated and untreated, were scanned with the same large-volume CBCT scan, that may yield more consistent density values than limited-volume CBCT scans<sup>39</sup>, and under the same exposure conditions, which eliminated equipment and image-acquisition setting-related variations. According to Araki *et al.*<sup>40</sup> in a CBCT system designed to scan a

large FOV with large-sized detectors, the influence of artifacts might be small and the HU application is possible. Because of the disagreement on the correlation between the CBCT and HU MD values, we used the HU values as a comparative rather than absolute measurement.

In CBCT images, the CT number of the same material tends to increase (brighter in gray scale) as the ROI approximates the exo-mass<sup>38,39</sup>, and/or the exo-mass<sup>39</sup> or the mass in slice<sup>38</sup> increase, resulting in varied readings of the mineral density of a given structure. In the assessment of adults, standardization of the head orientation and its position in the FOV and the use of a standardized FOV size allowed the control of the variables related to the structure mass, as the mass in slice (estimated as 7g for each 0.4 mm slice of the adult head<sup>38</sup>), localization of the exo-mass and positioning of the upper incisors in the FOV were similar across the patients, resulting in the same distortion of the gray levels in the areas of interest assessed in this study.

The object position inside the FOV modifies the relation between the ROI and the exo-mass and influences mineral density determination, as reported by Nackaerts *et al.*<sup>20</sup>, who demonstrated a significant variation when the object was repositioned in FOV between acquisitions. The authors used a FOV with a volume 35 times greater than ours, which may have influenced the results. Nevertheless, no conclusive information on the influence of FOV size on MD determination has been reported to date.

Katsumata *et al.*<sup>39</sup> described the possible influence of FOV size on MD, reporting a 381HU (266-647) BMD variation in a half-mandible, in 51, 102, 153 and 200 mm diameter FOVs. Yet, these authors did not eliminate the exo-mass (present in the 51mm FOV) and ROI positioning inside the FOV, adding the influence of other variables to their results and leaving the issue of the influence of FOV size on MD determination in large-volume CBCT images unresolved.

In spite of the number of possibly influential variables of MD values in CBCT images, we adopted exam standardization for variable control. This may be verified by analysis of the maxillary reference areas, where no significant differences between treated and untreated individuals were observed. A significant difference was only verified between the right and left sides in the 4.5mm lateral area in the 6mm section of the untreated group, with 3 patients presenting discrepantly reduced BMD values on the right, with no apparent reason.

## Conclusion

Individuals who had finished an orthodontic treatment at least 1 year previously had higher root mineral density means, compared with untreated individuals. On the other hand, the BMD did not show a significant difference between the groups.

The authors thank FAPEMIG and CNPQ for supporting this study.

## References

01. Roberts WE, Roberts JA, Epker BN, Burr DB, Hartsfield JK. Remodeling of mineralized tissues, part I: The Frost Legacy. *Semin Orthod* 2006;12:216-37.
02. Simmons DJ, Chang SL, Russell JE, Grazman B, Webster D, Oloff C. The effect of protracted tetracycline treatment on bone growth and maturation. *Clin Orthop Relat Res* 1983;180:253-9.
03. Russell JE, Grazman B, Simmons DJ. Mineralization in rat metaphyseal bone exhibits a circadian stage dependency. *Proc Soc Exp Biol Med* 1984;176:342-5.
04. Hsu JT, Chang HW, Huang HL, Yu JH, Li YF, Tu MG. Bone density changes around teeth during orthodontic treatment. *Clin Oral Investig* 2010;15:511-9.
05. Frost HM. The biology of fracture healing. An overview for clinicians. Part I. *Clin Orthop Relat Res* 1989;248:283-93.
06. Kong X, Cao M, Ye R, Ding Y. Orthodontic force accelerates dentine mineralization during tooth development in juvenile rats. *Tohoku J Exp Med* 2010;221:265-70.
07. Giunta D, Keller J, Nielsen FF, Melsen B. Dentine formation in miniature pigs with special reference to indomethacin and orthodontic treatment. *Scand J Dent Res* 1993;101:261-4.
08. Baba O, Qin C, Brunn JC, Wygant JN, McIntyre BW, Butler WT. Colocalization of dentin matrix protein 1 and dentin sialoprotein at late stages of rat molar development. *Matrix Biol* 2004;23:371-9.
09. Gluhak-Heinrich J, Ye L, Bonewald LF *et al.* Mechanical loading stimulates dentin matrix protein 1 (DMP1) expression in osteocytes in vivo. *J Bone Miner Res* 2003;18:807-17.
10. Melsen B. Biological reaction of alveolar bone to orthodontic tooth movement. *Angle Orthod* 1999;69:151-8.
11. Melsen B, Melsen F, Rolling I. Dentine formation rate in human teeth. *Calcif Tissue Res* 1977;23:R16.
12. Brezniak N, Wasserstein A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 1. Literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;103:62-6.

13. Brezniak N, Wasserstein A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 2. Literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;103:138-46.
14. Wierzbicki T, El-Bialy T, Aldaghreer S, Li G, Doschak M. Analysis of orthodontically induced root resorption using micro-computed tomography (Micro-TC). *Angle Orthod* 2009;79:91-6.
15. Lindh C, Obrant K, Petersson A. Maxillary bone mineral density and its relationship to the bone mineral density of the lumbar spine and hip. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004;98:102-9.
16. Turkyilmaz I, Tozum TF, Tumer C. Bone density assessments of oral implant sites using computerized tomography. *J Oral Rehab* 2007;34:267-72.
17. De Oliveira RCG, Leles CR, Normanha LM, Lindh C, Ribeiro-Rotta RJ. Assessments of trabecular bone density at implant sites on CT images. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;105:231-8.
18. Park HS, Lee YJ, Jeong SH, Kwon TG. Density of the alveolar and basal bones of the maxilla and the mandible. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:30-7.
19. Choi JH, Park CH, Yi SW, Lim HJ, Hwang HS. Bone density measurement in interdental areas with simulated placement of orthodontic miniscrew implants. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;136:766.e1-12.
20. Nackaerts O, Maes F, Yan H, Couto Souza P, Pauwels R, Jacobs R. Analysis of intensity variability in multislice and cone beam computed tomography. *Clin Oral Implants Res.* 2011;22:873-9.
21. Conover WJ. *Practice nonparametric statistics*. New York: Wiley, 1999.
22. Bridges T, King G, Mohammed A. The effect of age on tooth movement and mineral density in the alveolar tissues of the rat. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;93:245-50.
23. Melsen B. Tissue reaction to orthodontic tooth movement - a new paradigm. *Eur J Orthod* 2001;23:671-81.
24. Verna C, Dalstra M, Melsen B. The rate and the type of orthodontic tooth movement is influenced by bone turnover in a rat model. *Eur J Orthod* 2000;22:343-52.
25. Verna C, Melsen B. Tissue reaction to orthodontic tooth movement in different bone turnover conditions. *Orthod Craniofac Res* 2003;6:155-63.
26. Chang HW, Huang HL, Yu JH, Hsu JT, Li YF, Wu YF. Effects of orthodontic tooth movement on alveolar bone density. *Clin Oral Invest*. DOI: 10.1007/s00784-011-0552-9.
27. Junqueira LC, Carneiro J. *Basic Histology*. 11th ed. New York: McGraw-Hill; 2005.
28. Bertassoni LE, Stankoska K, Swain MV. Insights into the structure and composition of the peritubular dentin organic matrix and the lamellar limits. *Micron* 2012;43:229-36.
29. Butler WT. Dentin matrix proteins. *Eur J Oral Sci* 1998;106:204-10.

30. Jain A, Karadag A, Fohr B, Fisher LW, Fedarko NS. Three SIBLINGs (small integrin-binding ligand, N-linked glycoproteins) enhance factor H's cofactor activity enabling MCP-like cellular evasion of complement-mediated attack. *J. Biol. Chem* 2002;277:13700-8.
31. Imbeni V, Kruzic JJ, Marshall GW, Marshall SJ, Ritchie RO. The dentin-enamel junction and the fracture of human teeth. *Nat. Mater.* 2005;4:229-32.
32. Aranyarachkul P, Caruso J, Gantes B *et al.* Bone density assessments of dental implant sites: 2. Quantitative cone-beam computerized tomography. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2005;20:416-24.
33. Mah P, Reeves TE, McDavid WD. Deriving Hounsfield units using grey levels in cone beam computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 2010;39:323-35.
34. Lagraves MO, Carey J, Ben-Zvi M, Packota GV, Major PW. Effect of object location on the density measurement and Hounsfield conversion in a NewTom 3G cone beam computed tomography unit. *Dentomaxillofac Radiol* 2008;37:305-8.
35. Marquezan M, Lau TC, Mattos CT *et al.* Bone mineral density. *Angle Orthod.* DOI: 10.2319/031811-192.1.
36. Norton MR, Gamble C. Bone classification: an objective scale of bone density using the computerized tomography scan. *Clin Oral Impl Res.* 2001;12:79-84.
37. Katsumata A, Hirukawa A, Okumura S *et al.* Effects of image artifacts on gray-value density in limited-volume cone-beam computerized tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007;104:829-36.
38. Bryant JA, Drage NA, Richmond S. Study of the scan uniformity from an i-CAT cone beam computed tomography dental imaging system. *Dentomaxillofac Radiol* 2008;37:365-74.
39. Katsumata A, Hirukawa A, Okumura S *et al.* Relationship between density variability and imaging volume size in cone-beam computerized tomographic scanning of the maxillofacial region: an in vitro study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009;107:420-25.
40. Araki K, Maki K, Seki K *et al.* Characteristics of a newly developed dentomaxillofacial X-ray cone beam CT scanner (CB MercuRay): system configuration and physical properties. *Dentomaxillofac Radiol* 2004;33:51-9.