

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE MEDICINA
PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE

Helen Vidon Gomes

Avaliação da área superficial e do volume radicular de incisivos superiores com reabsorção radicular apical irregular e regular simulada

Juiz de Fora
2017

Helen Vidon Gomes

Avaliação da área superficial e do volume radicular de incisivos superiores com reabsorção radicular apical irregular e regular simulada

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saúde, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial a obtenção do grau de Mestre em Saúde. Área de concentração: Saúde Brasileira.

Orientador: Dr. Robert Willer Farinazzo Vitral

Juiz de Fora

2017

Helen Vidon Gomes

Avaliação da área superficial e do volume radicular de incisivos superiores com reabsorção radicular apical irregular e regular simulada

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saúde, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial a obtenção do grau de Mestre em Saúde. Área de concentração: Saúde Brasileira.

Aprovada em _____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

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

Dr. Marcio José da Silva Campos
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dra. Aneliese Holetz de Toledo Lourenço
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Sergio Luiz Mota Júnior

DEDICATÓRIA

*Eu dedico mais essa conquista
aos meus pais, **Agberto e Rosane**,
que são meu esteio e meu
exemplo,
ao meu irmão **Arthur** que lá do
céu, tenho certeza, continua
torcendo e zelando por mim e,
ao meu marido **Victor** por sua
dedicação, companheirismo e
cumplicidade.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, **Prof. Robert Willer Farinazzo Vitral**, por toda ajuda e paciência na realização deste trabalho.

Aos professores, **Marcio** e **Sergio**, que contribuíram muito e foram fundamentais para enriquecer este trabalho.

À minha família, amigos e todos, que de uma maneira ou de outra, contribuíram para o meu crescimento e que agora compartilham comigo a alegria de mais esta conquista.

RESUMO

A reabsorção radicular apical, consequência da movimentação dentária, é caracterizada pela perda de estrutura dentária. Essa redução do comprimento radicular leva a uma diminuição do suporte periodontal e, conseqüentemente, pode aumentar o risco à estabilidade e a longevidade do elemento afetado. O objetivo deste trabalho foi avaliar a área superficial e o volume radiculares da extensão da lesão de reabsorção radicular apical irregular subestimada em radiografias periapicais de incisivos superiores através de imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico. Foram avaliadas imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) de 18 incisivos com RRA e seus correspondentes contralaterais sem RRA, de 17 pacientes (8 homens e 9 mulheres), com idade média de 20,82 anos. A área superficial e o volume radicular dos incisivos com reabsorção irregular e regular simulada foram medidas nas imagens obtidas, com o auxílio do software InVesalius 3.0 (Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer - Campinas/SP). A área superficial dos dentes com reabsorção regular simulada foi significativamente maior do que dos dentes com reabsorção irregular ($p < 0,001$). Os incisivos com reabsorção regular simulada também apresentaram o volume significativamente maior do que os incisivos com reabsorção irregular ($p < 0,001$). A extensão da reabsorção radicular apical irregular subestimada em radiografias periapicais de incisivos superiores representou aproximadamente 10% da área superficial e do volume radiculares totais quando comparadas à uma reabsorção radicular apical regular simulada no mesmo comprimento radicular.

Palavras-chave: Reabsorção da Raiz; Ortodontia; Tomografia Computadoriza de Feixe Cônico.

ABSTRACT

Apical root resorption, a consequence of tooth movement, is characterized by loss of tooth structure. This reduction in root length leads to a decrease in periodontal support and, consequently, may increase the risk to the stability and longevity of the affected element. The aim of this study was to evaluate the root surface area and volume of the extension of the irregular apical root resorption lesion underestimated in periapical radiographs of upper incisors through conical beam computed tomography images. CT images of 18 incisors with ARR and their contralateral without ARR were evaluated in 17 patients (8 men and 9 women), with a mean age of 20.82 years. The root surface area and volume of the incisors with irregular and regular simulated resorption were measured in the images obtained with the software InVesalius 3.0 (Renato Archer Information Technology Center - Campinas / SP). The root surface area of teeth with simulated regular resorption was significantly higher than that of teeth with irregular resorption ($p < 0.001$). The incisors with simulated regular resorption also presented significantly larger volume than the incisors with irregular resorption ($p < 0.001$). The extent of irregular apical root resorption underestimated in periapical radiographs of maxillary incisors represented approximately 10% of the total root surface area and volume when compared to a simulated regular apical root resorption at the same root length.

Keywords: Root resorption; Orthodontics; Cone-Beam Computed Tomography.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** - Corte coronal (A) e sagital (B) de um incisivo superior demonstrando o posicionamento vertical do mesmo.....**40**
- Figura 2** - **A** - Incisivo com reabsorção irregular; **B** - Incisivo sem reabsorção (área acima da linha superior foi excluída); e **C** - Incisivo com reabsorção regular simulada. **MC** - linha perpendicular ao longo eixo radicular traçada no maior comprimento radicular do dente com reabsorção irregular. **AC** - linha passando pelos pontos médios das junções amelocementárias vestibular e palatina. Região de interesse demarcada em verde.....**40**
- Figura 3** - Áreas selecionadas após a aplicação da máscara.....**41**
- Figura 4** - Região de interesse selecionada após a edição manual em todos os cortes e a representação tridimensional do mesmo.....**41**

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----------|
| Tabela 1 – Teste de normalidade das variáveis avaliadas..... | 43 |
| Tabela 2 – Média das áreas superficiais e volumes dos incisivos com reabsorção radicular irregular e regular e comparação entre os mesmos..... | 43 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-----------------|---|
| RRA | Reabsorção Radicular Apical |
| TCFC | Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico |
| mm | Milímetro |
| mm ² | Milímetro Quadrado |
| mm ³ | Milímetro Cúbico |
| MC | Linha passando pelo maior comprimento radicular |
| AC | Linha amelocementária |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 14 |
| 2.1 CONCEITO DA REABSORÇÃO RADICULAR APICAL | 14 |
| 2.2 PREVALÊNCIA | 15 |
| 2.3 ETIOLOGIA | 16 |
| 2.3.1 Fatores Gerais | 17 |
| 2.3.1.1 <i>Fatores Sistêmicos</i> | 17 |
| 2.3.1.2 <i>Gênero</i> | 18 |
| 2.3.1.3 <i>Idade</i> | 19 |
| 2.3.2 Fatores Locais | 20 |
| 2.3.2.1 <i>Morfologia Radicular</i> | 20 |
| 2.3.2.2 <i>Morfologia Óssea</i> | 22 |
| 2.3.2.3 <i>Trauma</i> | 24 |
| 2.3.2.4 <i>Tipo de Má Oclusão</i> | 24 |
| 2.3.2.5 <i>Hábitos</i> | 26 |
| 2.3.3 Fatores Associados ao Tratamento Ortodôntico | 26 |
| 2.3.3.1 <i>Força</i> | 27 |
| 2.3.3.2 <i>Tipo e Quantidade de Movimento</i> | 28 |
| 2.3.3.3 <i>Técnicas / Mecânicas</i> | 30 |
| 2.3.3.4 <i>Duração do Tratamento</i> | 32 |
| 2.4 REABSORÇÃO RADICULAR VERSUS SUPORTE PERIODONTAL | 33 |
| 2.5 MÉTODOS DIAGNÓSTICOS DA REABSORÇÃO RADICULAR | 34 |
| 3 PROPOSIÇÃO | 38 |
| 4 MATERIAL E MÉTODO | 39 |
| 5 RESULTADOS | 41 |
| 6 DISCUSSÃO | 42 |
| 7 CONCLUSÃO | 46 |
| REFERÊNCIAS | 47 |
| APÊNDICE – Artigo Submetido | 56 |

1 INTRODUÇÃO

A reabsorção radicular apical é uma consequência frequente da movimentação ortodôntica, apresentando extensão variável e imprevisível (KUROL, OWMAN-MOLL e LUNDGREN 1996; TAITHOGCHAI, SOOKKORN e KILLIANY, 1996; CONSOLARO, 2005; AGARWAL *et al.*, 2016). É caracterizada pela perda de estrutura dentária decorrente do desaparecimento dos cementoblastos da superfície radicular (BREZNIAK e WASSERSTEIN, 1993^a; BREZNIAK e WASSERSTEIN, 1993^b; McNAB *et al.*, 2000; CONSOLARO, 2005). Isso ocorre devido à compressão dos vasos do ligamento periodontal causados pela força aplicada sobre o dente (McNAB *et al.*, 2000; CONSOLARO, 2005).

Como são assintomáticas, as reabsorções radiculares geralmente são diagnosticadas através de radiografias de rotina, como radiografias panorâmicas e periapicais (NEWMAN, 1975; WESTPHALEN, MORAES e WESTPHALEN, 2004; DUDIC *et al.*, 2009), sendo que ambas possuem limitações, pois fornecem imagens bidimensionais de estruturas tridimensionais (BREZNIAK e WASSERSTEIN, 2002; CONSOLARO, 2005). As radiografias panorâmicas fornecem poucos detalhes e apresentam muitas distorções (SAMESHIMA e ASGARIFAR, 2001), não sendo indicada como método diagnóstico das reabsorções (CONSOLARO, 2005). Já as radiografias periapicais, impedem a quantificação da reabsorção, uma vez que as faces dentárias se sobrepõem, subestimando a extensão das lesões (DUDIC *et al.*, 2009), além de restringir a detecção das alterações nas superfícies linguais e vestibular, dificultando a visualização de lesões iniciais (BREZNIAK e WASSERSTEIN, 2002; CONSOLARO, 2005). A principal vantagem da tomografia computadorizada é o fato desta permitir a representação da estrutura dental em três dimensões, possibilitando uma adequada interpretação dos reais defeitos causados pela reabsorção (LERMEN *et al.*, 2010). Entretanto, devido à alta dose de radiação em relação aos métodos radiográficos, a tomografia não é o exame de escolha para o acompanhamento da reabsorção durante o tratamento ortodôntico, pois os pacientes precisariam ser submetidos a vários exames (HSU *et al.*, 2010).

Indicada especialmente para a região dentomaxilofacial, a tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) (MOZZO *et al.*, 1998; LUND, GRÖNDAHL e GRÖNDAHL, 2010) apresenta como vantagens a redução da radiação para 1/60 da dose da tomografia *multislice*, o direcionamento da radiação para a área de interesse através da

utilização de colimador, a possibilidade de reconstrução da imagem original com a utilização dos *voxels* e a redução do tempo necessário para realização do exame (MAH *et al.*, 2003; HOLBERG *et al.*, 2005; SCARFE, FARMAN e SUKOVIC, 2006; SWENNEN *et al.*, 2006).

Apesar de representar um dano tecidual e estrutural, a reabsorção radicular apical limitada a 3 mm do comprimento radicular é considerada um custo biológico clinicamente aceitável, durante o tratamento ortodôntico, não devendo, entretanto, ser considerada normal, fisiológica ou como parte de remodelação apical. Essa redução do comprimento radicular leva a uma diminuição do suporte periodontal (PHILLIPS, 1955; KALKWARF, KREJCI e PAO, 1986; CONSOLARO, 2005). Kalkwarf, Krejci e Pao (1986) analisaram, através de computação gráfica, a quantidade de perda de suporte periodontal que ocorre secundariamente à reabsorção radicular apical, em um incisivo central superior direito extraído, e demonstraram que um encurtamento radicular de 8 mm correspondeu a uma redução de 50% do suporte periodontal.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a área superficial e o volume da reabsorção radicular apical irregular de incisivos superiores, através de imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico, a fim de analisar a hipótese de que exista uma diferença significativa entre essas variáveis quando medidas na simulação da imagem obtida em radiografias periapicais e na imagem tomográfica.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONCEITO DA REABSORÇÃO RADICULAR APICAL

Um dos efeitos colaterais mais comuns e indesejáveis do tratamento ortodôntico é a reabsorção radicular apical (RYGH, 1977; GOLDIN, 1989; BREZNIAK e WASSERSTEIN, 1993b; BREZNIAK e WASSERSTEIN, 1993^a; BAUMRIND, KORN e BOYD, 1996; HORIUCHI, HOTOKEZAKA e KOBAYASHI, 1998; AL-QAWASMI *et al.*, 2003; BRIN *et al.*, 2003; SMALE *et al.*, 2005; AL-QAWASMI *et al.*, 2006; PONDER *et al.*, 2010).

A força ortodôntica produz uma resposta inflamatória local com sinais característicos de inflamação. Esta inflamação, que é essencial para o movimento dentário, é na verdade o componente fundamental por trás do processo de reabsorção radicular (AGARWAL *et al.*, 2016).

Quando uma força excessiva é aplicada sobre o dente, durante a movimentação dentária ocorre uma compressão no ligamento periodontal, que é ricamente vascularizado, fazendo com que os cementoblastos necrosem (MCNAB *et al.*, 2000; CONSOLARO, 2005), criando uma área de hialinização.

O processo de reabsorção radicular se inicia quando um estresse mecânico gera uma desestabilização física e funcional das células, quebrando a homeostasia tecidual no ligamento periodontal (RYGH, 1977; HARRIS, KINERET e TOLLEY, 1997; CONSOLARO, 2005). Os cementoblastos não apresentam em sua membrana celular, receptores para os mediadores estimuladores da reabsorção, permitindo que a superfície radicular resista a este processo (LINDSKOG, BLOMLOF e HAMMARSTROM, 1987; CONSOLARO, 2005). Quando a camada cementoblástica, considerada guardiã da integridade da superfície radicular, é lesionada, permite que os osteoclastos advindos do osso vizinho ocupem essa área, dando início a reabsorção radicular (CONSOLARO, 2005).

O encurtamento radicular resultante da reabsorção radicular apical é irreversível (REITAN, 1974) e sua incidência se dá em quase todos os pacientes submetidos a tratamento ortodôntico (BRIN *et al.*, 2003).

Várias observações histológicas e radiográficas relatadas na literatura têm confirmado que o tratamento ortodôntico é acompanhado de um encurtamento radicular que pode acometer quase todos os dentes, diferindo apenas quanto ao grau de reabsorção (LINGE e LINGE, 1991; BREZNIAK e WASSERSTEIN, 1993^a; HARRIS, KINERET e TOLLEY, 1997; JANSON *et al.*, 2000; SAMESHIMA e SINCLAIR, 2001^a; AGARWAL *et al.*, 2016).

A perda de até 3 mm no terço apical radicular promove danos limitados, sendo considerado um custo biológico clinicamente aceito do tratamento ortodôntico, entretanto não é considerado normal, fisiológico ou como parte de um processo de remodelação apical (CONSOLARO, 2005).

O processo da reabsorção radicular cessa quando o agente físico causador da perturbação tecidual é eliminado, ou seja, quando a força ortodôntica é descontinuada (LINGE e LINGE, 1983; KALEY e PHILLIPS, 1991; CONSOLARO, 2005). Se a aplicação de força persistir normalmente em um dente com reabsorção radicular instalada, a extensão e a profundidade desta serão progressivamente agravadas (RYGH, 1977), demonstrando a necessidade do acompanhamento durante todo o tratamento ortodôntico de modo a não colocar em risco a integridade dos elementos dentários (CONSOLARO, 2005).

2.2 PREVALÊNCIA

Os dentes mais vulneráveis à reabsorção, por ordem decrescente de prevalência, são os incisivos laterais superiores, incisivos centrais superiores, incisivos inferiores, raiz distal dos primeiros molares inferiores, segundos pré-molares superiores e inferiores (RUDOLPH, 1936; BREZNIAK e WASSERSTEIN, 1993a).

Phillips (1955) avaliou radiografias periapicais de 131 pacientes tratados ortodonticamente e observou que, dos dentes reabsorvidos, 76,4% eram incisivos centrais superiores e inferiores, apresentando uma média de reabsorção de 2 mm.

Vonderahe (1973) investigou a reabsorção radicular, decorrente do tratamento ortodôntico, através de radiografias periapicais de 57 pacientes e constatou que os dentes mais suscetíveis eram os incisivos centrais superiores, seguidos dos segundos pré-molares superiores e inferiores e os menos suscetíveis eram os caninos inferiores.

Sharpe *et al.* (1987), após examinarem radiografias periapicais de 36 pacientes pré tratamento, pós tratamento e após 10 anos de tratamento, verificaram que os incisivos centrais superiores mostraram a maior quantidade de reabsorção, seguidos pelos primeiros molares e, por último, pelos caninos.

Kaley e Phillips (1991) observaram que 90% dos incisivos centrais superiores e apenas 50% dos pré-molares superiores e inferiores apresentavam reabsorção radicular, após avaliarem radiografias panorâmicas pré e pós-tratamento de 200 pacientes. Os autores salientaram o maior acometimento dos dentes superiores.

Castro *et al.* (2013), com intuito de determinar a frequência de reabsorção radicular apical decorrente do tratamento ortodôntico através de tomografia computadorizada pré e pós-tratamento, avaliaram 1.256 raízes de 30 pacientes portadores de má colusão Classe I com apinhamento, tratados sem extração. Em 100% dos pacientes encontrou-se reabsorção e em 46% da totalidade das raízes. As maiores frequências e as reabsorções mais significativas ocorreram nos incisivos e nas raízes distais do primeiro molares superiores e inferiores.

De acordo com estudo de De Freitas *et al.* (2013), os dentes com maior frequência de reabsorção radicular, observadas em imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico, foram incisivos laterais superiores (94,5%) e os incisivos centrais inferiores (87,7%), enquanto que os pré-molares apresentaram a menor frequência.

2.3 ETIOLOGIA

A reabsorção radicular, associada ao tratamento ortodôntico, é reconhecidamente um processo de natureza multifatorial (NEWMAN, 1975; KALEY e PHILLIPS, 1991; BREZNIAK e WASSERSTEIN, 1993b; BREZNIAK e WASSERSTEIN, 1993a; MIRABELLA e ARTUN, 1995; CONSOLARO, 2005; HARRIS, JONES e DARENDELILER, 2006; FELLER *et al.*, 2016), e o conhecimento dos fatores que podem levar a reabsorção é importante para que os profissionais possam tomar atitudes coerentes para um diagnóstico correto, usando mecanoterapia que respeite as estruturas biológicas e façam uso de radiografias periódicas para identificação ou acompanhamento das reabsorções radiculares (GRABER e VANARSDALL JUNIOR, 2002; FELLER *et al.*, 2016).

2.3.1 Fatores gerais

2.3.1.1 Fatores sistêmicos

A genética parece influenciar, ainda que não claramente, a reabsorção radicular (BREZNIAK e WASSERSTEIN, 1993b; BAUMRIND, KORN e BOYD, 1996; HARRIS, KINERET e TOLLEY, 1997; ALQABANDI, SADOWSKY e BEGOLE, 1999; AL-QAWASMI *et al.*, 2003). Linge e Linge (1991) citaram os desequilíbrios hormonais como fator contribuinte para as reabsorções, mas não como causador destas.

Poumpros, Loberg e Engstrom (1994) analisaram o efeito da administração de pequenas dosagens de tiroxina em ratos. Os animais foram divididos em 3 grupos - os não tratados ortodonticamente, os tratados e os tratados que receberam tiroxina. O grupo que recebeu o referido hormônio teve a frequência da reabsorção reduzida, concluindo assim que a função tireoidiana é um fator importante da reabsorção radicular induzida por força ortodôntica.

Harris, Kineret e Tolley (1997) realizaram um estudo no qual a amostra era composta por 103 pares de irmãos tratados ortodonticamente com a mesma técnica. Os resultados mostraram que as diferentes quantidades de reabsorção encontradas após o tratamento ortodôntico podem ser determinadas pelo genótipo.

Al-Qawasmi *et al.* (2003) descreveram pela primeira vez um marcador genético para identificar pessoas que são mais suscetíveis à reabsorção radicular apical. Eles avaliaram a associação entre os polimorfismos nos genes IL-1 α e IL- β e a reabsorção radicular decorrente do tratamento ortodôntico, em 35 famílias americanas. Esses genes investigados codificam citocinas conhecidas por estarem envolvidas na reabsorção óssea associada à movimentação ortodôntica. O DNA, coletado na mucosa bucal, foi analisado separadamente e em conjunto com as reabsorções dos incisivos centrais superiores e inferiores e das raízes mesial e distal dos primeiros molares inferiores. Os autores encontraram uma associação estatisticamente significativa entre o polimorfismo no IL- β com a manifestação da reabsorção radicular apical.

Segundo Hartsfield (2004), os fatores genéticos respondem por pelo menos 50% da variação das reabsorções e que a variação no gene IL- β em pacientes tratados ortodonticamente respondem por 15%.

Para Consolaro (2005), não se conhece nenhuma doença, adquirida ou geneticamente determinada, em que o paciente apresente mediadores da reabsorção dentária, não existindo assim nenhuma doença sistêmica que possua a capacidade de remover os cementoblastos da superfície radicular. Desta forma, não é possível atribuir influência dos fatores sistêmicos às reabsorções, que não existem sem a remoção dos cementoblastos. Além disso, a predisposição ou a suscetibilidade genética à reabsorção radicular ainda não está comprovada e os fatores locais associados a essas reabsorções podem não estar sendo observados nem considerados.

Al-Qawasmi *et al.* (2006) pesquisaram o efeito de algumas características genéticas na suscetibilidade ou resistência para desenvolver a reabsorção radicular associada ao tratamento ortodôntico. Foram distribuídos em 8 grupos caso/controle de camundongos machos de 8 diferentes linhagens. Foram colocados aparelhos ortodônticos nos primeiros molares superiores e, após análise histológica, 3 grupos se mostraram altamente suscetíveis à reabsorção. Assim, pode-se afirmar, segundo os autores, que a suscetibilidade ou resistência à reabsorção radicular apical é uma característica modificada geneticamente.

De acordo com Jiang, McDonald e Fu (2010) o fato de o paciente apresentar reabsorção radicular previamente ao tratamento ortodôntico parece influenciar a reabsorção radicular após o tratamento ortodôntico. Sendo assim, um paciente que tem reabsorção radicular sem tratamento ortodôntico pode ser mais suscetível à reabsorção radicular com tratamento ortodôntico.

2.3.1.2 Gênero

Muitos estudos não encontraram diferenças significativas da incidência da reabsorção radicular entre os gêneros (DESHIELDS, 1969; KENNEDY *et al.*, 1983; LINGE e LINGE, 1983; GOLDIN, 1989; MCFADDEN *et al.*, 1989; LINGE e LINGE, 1991; BREZNIAK e WASSERSTEIN, 1993a; BECK e HARRIS, 1994; HENDRIX *et al.*, 1994; HARRIS, KINERET e TOLLEY, 1997; SAMESHIMA e SINCLAIR, 2001a; JIANG, MCDONALD e FU, 2010; CASTRO *et al.*, 2013; AGARWAL *et al.*, 2016), embora alguns afirmem que a reabsorção radicular seja maior nas mulheres (RUDOLPH, 1936; NEWMAN, 1975; LEVANDER e MALMGREN, 1988; KJAER, 1995).

Baumrind, Korn e Boyd (1996) realizaram um estudo em que avaliaram radiografias periapicais de 81 pacientes e encontraram um resultado oposto a todos os estudos citados anteriormente. Observaram que o sexo masculino foi mais afetado pela reabsorção quando comparado com o sexo feminino. No estudo realizado por Spurrier *et al.* (1990), o sexo masculino também apresentou reabsorção mais significativa em dentes vitais.

2.3.1.3 Idade

Vários estudos encontraram uma relação significativa entre a reabsorção radicular e a idade do paciente (TAITHONGCHAI, SOOKKORN e KILLIANY, 1996; MAVRAGAN *et al.*, 2000; SAMESHIMA E SINCLAIR, 2001a).

Acredita-se que a idade é um fator importante relacionado à reabsorção radicular, devido à reduzida capacidade de reparação em pacientes mais velhos (JIANG, MCDONALD e FU, 2010).

As alterações decorrentes do envelhecimento tornam a membrana periodontal menos vascularizada e sem elasticidade e o cemento torna-se mais espesso, tornando-a mais estreita (REITAN e RYGH, 1994). Estas alterações dificultam o movimento dentário e predispõe a reabsorção radicular (BREZNIAK e WASSERSTEIN, 1993a; BREZNIAK e WASSERSTEIN, 1993b). Assim, a movimentação dentária deve ser mais cuidadosa, com forças leves e o estresse oclusal deve ser prevenido com o intuito de diminuir o risco de reabsorção (REITAN e RYGH, 1994).

Linge e Linge (1983) demonstraram a relevância de se considerar que fatores como as características do ligamento periodontal e adaptação muscular devido às mudanças oclusais favorecem os pacientes jovens. A pesquisa estatística para fatores de riscos clínicos da reabsorção radicular apical indicou que pacientes que iniciaram o tratamento depois de 11 anos de idade apresentaram significativamente mais reabsorção radicular do que os pacientes que começaram mais cedo, mesmo apresentando crescimento residual da raiz.

Vonderahe (1973) examinou radiografias periapicais de 57 pacientes submetidos a tratamento ortodôntico com idade entre 8 e 41 anos. A amostra foi composta somente por pacientes que apresentaram reabsorção radicular. Não foi encontrada nenhuma associação significativa entre a reabsorção radicular e a idade do paciente.

De acordo com Harris e Backer (1990), apesar de a idade ser frequentemente associada como fator predisponente da reabsorção radicular, ela, isoladamente, separada de fatores que geralmente a acompanham, como problemas na articulação temporomandibular e um maior índice de doença periodontal, não predispõe à uma reabsorção significativamente maior.

Consolaro (2005) relata que quando os tecidos estão normais, não existe diferença entre a frequência de reabsorção radicular entre adultos e jovens. O tratamento ortodôntico deve ser mais cuidadoso quando o adulto apresentar sequelas relacionadas à doença periodontal crônica, por apresentar morfologia modificada requerendo uma mecânica especificamente dimensionada. A aplicação de força em dentes com doença periodontal inflamatória crônica aumenta mais ainda o acúmulo dos mediadores da osteoclasia.

Diversos autores chegaram à conclusão que idade não possui correlação significativa com a reabsorção radicular (LINGE e LINGE, 1991; BECK e HARRIS, 1994; BAUMRIND, KORN e BOYD, 1996; HARRIS, KINERET e TOLLEY, 1997; CASTRO *et al.*, 2013).

2.3.2 Fatores locais

2.3.2.1 Morfologia radicular

Para Consolaro (2005) a predisposição a reabsorção radicular apical associada ao tratamento ortodôntico está relacionada com a morfologia radicular – forma e comprimento radicular e angulação entre a raiz e coroa.

Levander e Malmgen (1988) constataram que as raízes dilaceradas, curtas ou em forma de pipeta, possuem maior predisposição à reabsorção radicular.

A reabsorção radicular externa ocorre com maior frequência nos incisivos superiores (GUO *et al.*, 2016; FELLER *et al.*, 2016; ELHADDAOUI *et al.*, 2017). Para Elhaddaoui *et al.* (2017) isso pode ser justificado pela morfologia radicular desses dentes - formato triangular e ápice estreito - e a distância percorrida pelo ápice durante os movimentos de retração e de torque, que frequentemente ocorrem nesses dentes.

Kjaer (1995) realizou um estudo com a finalidade de identificar radiograficamente as características morfológicas pré-tratamento de 107 pacientes que apresentaram reabsorções severas durante a terapia ortodôntica. A morfologia da raiz e da coroa e a presença de agenesias, ectopias, taurodontismo e invaginações foram examinadas na dentição permanente. As documentações foram avaliadas por 35 ortodontistas, que encontraram uma grande presença de raízes curtas, estreitas, em forma de pipeta e dilaceradas. Foi verificada a associação entre essas características morfológicas e a predisposição a reabsorção durante o tratamento ortodôntico.

Mirabella e Artun (1995) avaliaram 343 pacientes adultos com o intuito de analisar a morfologia radicular, o comprimento da raiz, a quantidade de movimento radicular e o tipo de tratamento. Concluíram que a quantidade de movimento radicular e a presença de raízes longas, delgadas e curvas aumentam o risco de reabsorção radicular.

Thongudomporn e Freer (1998) analisaram as características morfológicas, como agenesias, invaginação, incisivos laterais conóides, impacção, erupção ectópica, raízes em forma de pipeta ou estreitas, raízes arredondadas ou curtas e taurodontismo, em amostra composta por 111 pacientes. O objetivo do estudo foi avaliar as influências de qualquer uma dessas características sobre reabsorção radicular. Os autores concluíram que pacientes que não apresentaram nenhuma alteração morfológica tiveram níveis significativamente mais baixos de reabsorção radicular do que àqueles pacientes portadores de pelo menos uma dessas anomalias. Observaram também uma alta correlação entre a reabsorção e a invaginação, as raízes curtas e em forma de pipeta.

Lee, Artun e Alonzo (1999) investigaram a possível implicação das anomalias dentárias como fatores de risco das reabsorções radiculares. Para isso compararam radiografia periapicais pré e pós tratamento de 84 pacientes portadores de ao menos um tipo de anomalia dentária e de 84 pacientes sem tais anomalias. A análise de regressão não identificou nenhuma das anomalias como fatores de risco para a reabsorção.

Sameshima e Sinclair (2001a) realizaram um estudo com intuito de oferecer meios aos ortodontistas para prever a incidência, a localização e a severidade da reabsorção radicular antes do tratamento. Avaliaram radiografias periapicais de todos os dentes de 868 pacientes e encontraram uma maior ocorrência de reabsorção nos incisivos laterais superiores e nos dentes com raiz em forma de pipeta, pontiaguda ou dilacerada.

Kook, Park e Sameshima (2003) compararam radiografias periapicais pré e pós tratamento de 114 pacientes, com o objetivo de analisar o padrão de reabsorção radicular externa em incisivos laterais conóides e pequenos em relação ao padrão dos incisivos com forma normal. Os resultados mostraram que não houve diferença significativa na reabsorção radicular entre os laterais conóides (1,09 mm) e os normais (0,88 mm). No entanto, foi encontrada uma diferença estatisticamente significativa na reabsorção radicular apical entre laterais pequenos (1,03 mm) e normais (1,62 mm).

Consolaro (2005) realçou que nas raízes triangulares ou em forma de pipeta, a delicadeza estrutural do ápice resulta em maior suscetibilidade às reabsorções radiculares, levando a um precoce arredondamento radicular. O mesmo se aplica às raízes dilaceradas, uma vez que sua arquitetura é mais fina no ápice. Nas raízes curtas, ocorre uma intensificação no ápice das forças aplicadas devido à alavanca formada pela coroa dentária, aumentando a proporção coroa-raiz. A distribuição da força se dá de forma mais uniforme em casos em que as raízes apresentam formas romboides ou retangulares, diminuindo a ocorrência da reabsorção.

A morfologia da raiz dentária pode ser vista com um dos principais fatores na previsibilidade da ocorrência das reabsorções radiculares apicais durante o tratamento ortodôntico (KJAER, 1995; CONSOLARO, 2005), devido à maior ou menor concentração de força no ápice radicular (MIRABELLA e ARTUN, 1995; SAMESHIMA e SINCLAIR, 2001a; CONSOLARO, 2005).

2.3.2.2 *Morfologia óssea*

Otis, Hong e Tuncay (2004) correlacionaram a forma e a densidade do osso alveolar com a reabsorção radicular apical. Foram selecionados 22 pacientes que apresentavam reabsorção radicular nos incisivos inferiores e sem histórico de trauma dentário, doença sistêmica, anormalidade craniofacial, dentes impactados ou dentes tratados endodonticamente. Foi observado que as dimensões da sínfise mandibular permaneceram relativamente inalteradas durante a movimentação dentária. Não foi encontrada correlação significativa entre a reabsorção e a quantidade de osso alveolar em torno da raiz, a espessura do osso cortical, a densidade da rede trabecular e a dimensão fractal. Os autores concluíram

que a densidade e a morfologia da sínfise não são fatores importantes na etiologia da reabsorção radicular apical em incisivos inferiores.

Para Consolaro (2005) a morfologia do osso alveolar pode influenciar a quantidade de reabsorção durante o tratamento ortodôntico. Inicialmente, os movimentos dentários ocorrem às custas da compressão dos tecidos e deslocamento lateral dos líquidos e também pela deflexão do osso alveolar que absorve ou diminui os efeitos das forças aplicadas sobre o dente, reduzindo o impacto nos tecidos periodontais. Quanto maior a deflexão óssea, menor será o dano periodontal.

Em áreas com maior densidade mineral óssea, não haverá uma redução das forças aplicadas, uma vez que esta depende da flexibilidade óssea (BRIDGES, KING e MOHAMMED, 1988; CHOI *et al.*, 2009). Assim, quando uma força é aplicada em uma região com maior densidade mineral óssea, maior será a pressão no ligamento periodontal, aumentando o risco de reabsorção radicular durante a movimentação (RYGH e REITAN, 1972; GOLDIE e KING, 1984).

Pela maior densidade do osso cortical (MISCH, 1990; CHOI *et al.*, 2009), estabeleceu-se associação entre a reabsorção radicular em incisivos superiores e a proximidade das raízes dentárias com o osso cortical lingual, durante o tratamento ortodôntico (KALEY e PHILLIPS, 1991; HORIUCHI, HOTOKEZAKA e KOBAYASHI, 1998). Assim, as chances das reabsorções serem severas aumentam em 20 vezes quando o ápice radicular é forçado contra a placa cortical (KALEY e PHILLIPS, 1991).

A reabsorção radicular pode ser prevenida através da análise da crista óssea antes do tratamento ortodôntico. Quando ela se apresenta na forma triangular, as forças aplicadas serão em parte absorvidas pela deflexão óssea; quando retangular, a deflexão será menor e aumenta a chance de reabsorção; e quando romboide, apresenta capacidade de ceder estruturalmente, mas de forma diferente da triangular. Quando essa deflexão não ocorre, aumenta-se o acúmulo de mediadores da reabsorção radicular decorrentes do maior estresse celular e de uma inflamação subclínica. Quanto menor o suporte ósseo ou a altura da crista óssea alveolar, maior a probabilidade de reabsorção durante o movimento dentário (CONSOLARO, 2005).

2.3.2.3 Trauma

Os traumatismos promovem lesão no tecido periodontal e quanto maior o dano na superfície dentária, maior será a possibilidade de ocorrer reabsorção. Se o processo de reparo for iniciado precocemente, menor será o tempo de reabsorção e a estrutura dentária a ser reparada (CONSOLARO, 2005).

Malmgren *et al.* (1982) avaliaram a frequência e o grau de reabsorção radicular em incisivos traumatizados submetidos a tratamento ortodôntico. Analisaram radiografias periapicais pré e pós tratamento de 27 pacientes com 55 incisivos traumatizados - 11 com sinais de reabsorção antes do tratamento ortodôntico - e de 55 pacientes sem dentes traumatizados como controle. Foram comparados os incisivos traumatizados com os normais do mesmo indivíduo e com os incisivos normais dos indivíduos do grupo controle. Nenhuma das comparações apoiou a hipótese de que os dentes traumatizados são mais suscetíveis à reabsorção radicular do que os não lesionados. Os autores chegaram à conclusão que apenas os dentes traumatizados com histórico prévio de reabsorção são mais propensos a reabsorção durante o tratamento ortodôntico. Ressaltaram que em dentes traumatizados com o ligamento periodontal intacto (trauma leve ou moderado) podem ser movimentados ortodonticamente 3 a 4 meses após o trauma com prognóstico favorável. Já nos casos de traumatismos severos, a movimentação dentária poderá ser realizada após o restabelecimento das condições de normalidade periodontal com acompanhamento clínico e radiográfico de no mínimo 1 ano. Protocolo semelhante deve ser seguido em casos de fraturas radiculares, porém deve-se observar a evolução por no mínimo 2 anos.

Mavragani *et al.* (2000) avaliaram radiografias periapicais pré e pós-tratamento de 80 pacientes e observaram uma relação significativa entre o encurtamento radicular dos incisivos centrais e o trauma.

2.3.2.4 Tipo de má oclusão

Quando a má oclusão é considerada grave, guarda correlação com a reabsorção radicular (HARRIS, KINERET e TOLLEY, 1997), pois exigirá um maior tempo de tratamento (REITAN, 1974; LINGE e LINGE, 1983; SHARPE *et al.*, 1987; LEVANDER e

MALMGREN, 1988; GOLDIN, 1989; MCFADDEN *et al.*, 1989) e recursos mecânicos mais abrangentes ou compensatórios, como elásticos intermaxilares (LINGE e LINGE, 1983).

De acordo com alguns estudos (VONDERAHE, 1973; MIRABELLA e ARTUN, 1995; BAUMRIND, KORN e BOYD, 1996; HARRIS, KINERET e TOLLEY, 1997), o tipo de má oclusão não possui relação significativa com a reabsorção radicular. Outros estudos afirmaram que existe uma correlação entre a gravidade da má oclusão e a reabsorção radicular, devido aos recursos mecânicos exigidos (LINGE e LINGE, 1983; LINGE e LINGE, 1991; HARRIS e BUTLER, 1992) e longo tempo de tratamento ortodôntico exigido para corrigi-las (REITAN, 1974; LINGE e LINGE, 1983; LEVANDER e MALMGREN, 1988; GOLDIN, 1989; LINGE e LINGE, 1991; TAITHONGCHAI, SOOKKORN e KILLIANY, 1996).

Newman (1975) realizou um estudo com objetivo de avaliar a relação da ocorrência de reabsorção radicular com o tipo de má oclusão. Para isso, analisou radiografias periapicais, modelos e registros do exame clínico intrabucal de 47 jovens que apresentavam reabsorção em no mínimo 3 dentes e em pelo menos 2 quadrantes distintos. O autor constatou que o mau posicionamento dentário e a mordida cruzada não possuíam relação com a reabsorção, enquanto que a mordida aberta foi intimamente ligada a essa alteração.

Outros estudos também chamaram atenção para a mordida aberta, principalmente nos casos com interposição lingual, como um tipo de má oclusão capaz de influenciar o aparecimento da reabsorção (NAHOUM, 1975; CANGIALOSI, 1984; HARRIS e BUTLER, 1992).

Ronnerman e Larsson (1981) avaliaram radiografias periapicais de incisivos superiores de 23 pacientes, tratados ortodonticamente, antes, imediatamente após e 3 e 10 anos após o término do tratamento. Os pacientes foram divididos em 4 grupos: grupo A - 5 pacientes com má oclusão Classe II, 1ª divisão, tratados com ativador; grupo B - 9 pacientes, sendo 8 Classe II, 1ª divisão e 1 Classe II, 2ª divisão, tratados com 4 extrações; grupo C - 5 pacientes Classe II, 1ª divisão, tratados com extrações apenas no arco superior; e grupo D - 4 pacientes Classe I com apinhamento, tratados com extrações em ambos os arcos. Foram encontradas reabsorções radiculares em 39% dos casos, com extensão de 1 a 3 mm. Como os grupos B e C necessitaram de maior movimentação para correção da má oclusão, foram responsabilizados pela maior quantidade de reabsorção.

Kaley e Phillips (1991) afirmaram que pacientes portadores de má oclusão Classe II ou III são significativamente mais acometidos pela reabsorção, quando comparados com os portadores de Classe I de Angle. Isso provavelmente é decorrente da maior quantidade de movimentação, principalmente nos incisivos superiores, necessárias para correção destes tipos de má oclusão.

2.3.2.5 Hábitos

O pressionamento atípico da língua (NANDA, KHAN e ANAND, 1972; NAHOUM, 1975; NEWMAN, 1975; CANGIALOSI, 1984; HARRIS e BUTLER, 1992) e a onicofagia (ODENRICK e BRATTSTROM, 1983; ODENRICK e BRATTSTROM, 1985), são hábitos relacionados com o aparecimento e agravamento de lesões de reabsorção radicular durante o tratamento ortodôntico. Além disso, indivíduos que apresentam bruxismo também tendem a mostrar reabsorções múltiplas (CONSOLARO, 2005).

Odenrick e Brattstrom (1983), como o objetivo de relacionar a onicofagia com a reabsorção radicular, analisaram 42 pacientes tratados ortodonticamente, sendo que 21 eram pacientes onicófagos. Todos apresentaram reabsorção após tratamento ortodôntico, mas foram mais significativas nos portadores deste hábito.

Harris e Butler (1992) analisaram os incisivos centrais que apresentavam reabsorção de pacientes com mordida aberta ou com sobremordida acentuada. Observaram que os pacientes com mordida aberta já apresentavam raízes mais curtas que os pacientes com sobremordida acentuada, mesmo antes do tratamento ortodôntico. Especularam que as forças intrusivas e de inclinação provocadas pela língua são capazes de causar reabsorção.

2.3.3 Fatores associados ao tratamento ortodôntico

O primeiro a relacionar a reabsorção radicular apical com o tratamento ortodôntico foi Otollengui (1914), mas somente em 1927 Ketcham pode comprovar radiograficamente essa relação. Desde então, a movimentação ortodôntica tem sido considerada como o principal fator etiológico da reabsorção. Sua presença ou severidade é

representada por muitas variáveis, como características teciduais, adaptação funcional e reações individuais (BREZNIAK e WASSERSTEIN, 1993a). Toda mecânica, por menores que sejam as forças aplicadas, têm potencial de desencadear a reabsorção radicular (OWMAN-MOLL, KUROL e LUNDGREN, 1995a; OWMAN-MOLL, KUROL e LUNDGREN, 1995b).

2.3.3.1 Força

A terapia ortodôntica baseia-se na aplicação de uma força prolongada no dente, criando duas regiões: uma de pressão - na direção da força - e outra de tensão - contrária a força (SAMESHIMA e SINCLAIR, 2001a; CONSOLARO, 2005). Acredita-se que a magnitude da força ortodôntica seja um fator importante na etiologia da reabsorção radicular externa (AGARWAL et al, 2016).

Stuteville (1938) salientou que devem ser analisados fatores como o tipo de força, a magnitude e a distância na qual a força permanece ativa. Além disso, devem ser observadas outras forças, além daquelas exercidas pelo aparelho.

Quanto maior a força aplicada, maior será o estresse causado nas estruturas radiculares e óssea e maior será a extensão da reabsorção, pois o processo de reparação fica comprometido. A magnitude da força tem sido considerada um fator importante na associação da reabsorção radicular e o tratamento ortodôntico (CASA *et al.*, 2001; FALTIN *et al.*, 2001; FELLER *et al.*, 2016). Quando forças intermitentes são aplicadas, permite-se que o cemento seja reparado nos intervalos entre aplicações de força, prevenindo assim uma maior reabsorção (CASA *et al.*, 2001; FELLER *et al.*, 2016).

Em 1974, Reitan estudou a reação tecidual no ápice radicular de 72 pré-molares de 32 pacientes, com idade entre 9 e 16 anos, que foram submetidos a forças com duração, direção e magnitude variadas. O autor observou que as reabsorções ocorreram na maioria dos casos, mas que quando as forças são moderadas, as lacunas de reabsorção são superficiais.

Linge e Linge (1983) afirmaram que a aplicação de forças intermitentes possibilita o reparo de áreas reabsorvidas e previne novas ocorrências, uma vez que ocorre uma reorganização histológica local. Além disso, ressaltaram como possíveis fatores contribuintes

para reabsorção durante o tratamento ortodôntico a utilização de elásticos intermaxilares e forças oclusais traumáticas.

Na relação da força empregada durante a movimentação dentária e a reabsorção radicular o mais importante não é a intensidade desta força, mas sim sua distribuição nas estruturas dentárias e periodontais. Quanto maior a área de atuação da força, maior será a distribuição da força e menor será a reabsorção. As forças contínuas estão mais frequentemente associadas às reabsorções dentárias do que as forças intermitentes, provavelmente devido ao alívio do estresse induzido, provocando menor dano tanto aos tecidos periodontais, quanto a camada cementoblástica (CONSOLARO, 2005).

Weiland (2003) comparou o uso de fios de aço com os superelásticos e concluiu que os casos tratados com fios superelásticos apresentaram maior severidade de reabsorção, pois a movimentação é mais rápida com aplicação de força constante.

Owman-Moll (1995) realizou um estudo com o objetivo de investigar a associação entre a força aplicada, a taxa de movimentação dentária e as reabsorções radiculares. Para tanto, utilizou forças de diferentes tipos e magnitudes para movimentar primeiros e segundos pré-molares superiores de 144 adolescentes. O autor não observou diferença significativa nas áreas comprometidas pela reabsorção radicular nos dentes tratados com forças contínuas ou intermitentes. Além disso, constatou que mesmo quando a magnitude da força aplicada foi dobrada ou quadruplicada, não houve aumento significativo da ocorrência ou da gravidade da reabsorção radicular.

2.3.3.2 *Tipo e quantidade de movimento*

O movimento intrusivo de dentes anteriores é um procedimento amplamente realizado durante a prática ortodôntica e seu fator de risco para a reabsorção radicular é muito discutido. Com o objetivo de investigar a intrusão como possível causa de reabsorção, 17 pacientes com *overbite* excessivo, tratados com arco intrusivo tipo Burstone sob baixa pressão, foram avaliados. Como grupo controle, 17 pacientes em tratamento com aparelho fixo foram selecionados ao acaso. Observou-se que, após 4 meses, o grupo de intrusão tinha somente um leve grau de reabsorção radicular quando comparado ao grupo controle (COSTOPOULOS e NANDA, 1996).

Dermaut e De Munck (1986) afirmaram que, quando comparado com outras variáveis do tratamento como torque, elásticos de Classe II e fios retangulares, o movimento de intrusão foi o que mais causou reabsorção durante o tratamento ortodôntico.

McFadden *et al.* (1989) realizaram um estudo radiográfico das reabsorções radiculares apicais, pois a área apical recebe uma grande concentração de esforços, sendo a que enfrenta a direção do movimento durante a intrusão. Examinaram a relação do encurtamento radicular com a intrusão dos incisivos superiores e inferiores, considerando a idade, o sexo, o tratamento com ou sem extração, o tipo facial, a angulação dos incisivos em relação aos planos esqueléticos, a largura da sínfise e o tempo de tratamento. Encontraram relação significativa apenas com o tempo de tratamento e de maneira discreta com a quantidade de intrusão dos incisivos superiores.

Segundo, Parker e Harris (1998) a melhor explicação para a diferença da incidência da reabsorção entre indivíduos é a combinação dos movimentos. A mais prejudicial parece ser a combinação dos movimentos intrusivos com torque lingual. Afirmaram, pela análise de regressão múltipla, que os movimentos verticais do ápice e da borda incisal e a protrusão dos incisivos, são fatores de predisposição das reabsorções.

Consolaro (2005) afirmou que quase sempre a mecânica intrusiva associa-se com movimentos de inclinação extensos. Esta associação de intrusão com correções maiores correspondem à uma maior incidência de reabsorção. Quando os molares são usados como ancoragem e as raízes são intruídas apresentam reabsorção, mas, se ao contrário, forem extruídas, não. Quanto maior a extensão do movimento maior será o índice de reabsorção, principalmente quando associadas com mecânicas intrusivas e casos com extração.

Baumrind, Korn e Boyd (1996) compararam a quantidade de reabsorção radicular apical com o deslocamento do incisivo central superior, quanto à magnitude da força durante o tratamento ortodôntico. Não foram estatisticamente significante as associações entre a reabsorção e a intrusão, extrusão e protrusão. Um fato interessante encontrado pelos autores foi a correlação negativa entre a intrusão e a reabsorção, ou seja, mais intrusão gera menos reabsorção.

Wilson *et al.* (1994), Rudolph, Willes e Sameshima (2001) e Shaw, Sameshima e Vu (2004), encontraram maior concentração de estresse no ápice radicular decorrente da aplicação de forças verticais, principalmente de intrusão.

A intrusão dos dentes anteriores que ocorre durante a acentuação - arco superior - e reversão - arco inferior - da curva de Spee pode estar associada com a quantidade de reabsorção radicular (SHANNON e NANDA, 2004). Assim, é importante ressaltar a distribuição da força nas estruturas periodontais e radiculares, uma vez que quanto maior a área de dissipação da força, menor a reabsorção (CHOY *et al.*, 2000; CONSOLARO, 2005).

De acordo com Levander e Malmgren (1988) o aumento do risco da ocorrência da reabsorção radicular é justificado pelo aumento da pressão das forças ortodônticas na região do ápice radicular.

Mirabella e Artun (1995) e Smale *et al* (2005) não encontraram associação significativa entre o torque e a reabsorção radicular apical em incisivos superiores. De maneira oposta, Kaley e Phillips (1991), Linge e Linge (1991), encontraram relação entre o diagnóstico de reabsorção com a incorporação de torque e relacionaram com o tempo de permanência de arcos retangulares durante o tratamento ortodôntico.

Owman-Moll, Kurol e Lundgren (1995), com o intuito de observar a reabsorção radicular em adolescentes, após a aplicação de força contínua, bem controlada e de magnitude relevante, induziram o movimento vestibular em 112 pré-molares superiores. Os pré-molares contralaterais serviram de controle. Após 7 semanas, o grupo teste mostrou aproximadamente 20 vezes mais reabsorção do que o grupo controle. Os autores chegaram à conclusão de que a grande variação individual na reabsorção está associada à quantidade de movimento dentário em associação com fatores individuais desconhecidos que provocam reações teciduais adversas não reveladas em radiografias.

2.3.3.3 *Técnicas / mecânicas*

Vários autores avaliaram o grau de reabsorção radicular com a utilização de diferentes técnicas e mecânicas ortodônticas (PARKER e HARRIS, 1998; JANSON *et al.*, 2000; BRIN *et al.*, 2003; FRITZ, DIEDRICH e WIECHMANN, 2003).

Ketcham (1927) comparou radiografias periapicais pré e pós tratamento de 385 pacientes que foram submetidos a tratamento ortodôntico com diferentes técnicas. O autor observou a presença de reabsorção radicular em 21% dos dentes anteriores examinados e não encontrou relação significativa entre a reabsorção e o tipo de aparelho utilizado. Assim, ele

salientou que existem outros fatores além do estímulo mecânico promovido pela movimentação ortodôntica, ressaltando a predisposição individual como causa principal.

Beck e Harris (1994) não observaram nenhuma diferença significativa quando compararam a técnica de Begg com a *Edgewise*. Ao comparar a técnica de Begg com a *Edgewise*, McNab et al. (2000) encontraram reabsorção radicular três vezes maior nos dentes posteriores em casos tratados com a técnica de Begg. Entretanto, afirmaram não ser significativa a diferença entre essas técnicas.

Parker e Harris (1998) afirmaram não existir relação entre as técnicas utilizadas e as reabsorções radiculares, após estudarem 110 adolescentes portadores de má oclusão Classe I, submetidos à extração de todos os primeiros pré-molares. Os tratamentos foram realizados por três ortodontistas que utilizaram diferentes técnicas - *Edgewise*, de Begg e *Straightwire*.

Blake, Woodside e Pharoah (1995) não encontraram diferença significativa na reabsorção radicular após tratamento ortodôntico com braquetes da técnica *Edgewise* e *Speed*.

Janson *et al.* (2000) compararam o grau de reabsorção com as técnicas *Edgewise*, *Straightwire* e a Terapia Bioeficiente. Esta última foi correlacionada à menor quantidade de reabsorção e os pacientes tratados com a técnica *Edgewise* apresentaram o maior grau de reabsorção nos incisivos centrais superiores.

Mavragani *et al.* (2000) realizaram um estudo com objetivo de comparar a severidade da reabsorção radicular apical em pacientes tratados com as técnicas *Edgewise Standard* e *Straightwire*. Avaliaram radiografias periapicais pré e pós-tratamento de 80 pacientes com má oclusão Classe II, 1ª divisão, tratados com extrações de pelo menos dois pré-molares superiores. Houve significativamente mais reabsorção radicular dos incisivos centrais no grupo tratado com *Edgewise Standard*, provavelmente porque a técnica *Straightwire* reduz a necessidade de dobras de fios e oferece a possibilidade de um melhor controle do aparelho e, conseqüentemente, da movimentação dentária.

Mirabella e Artun (1995) observaram aumento da incidência de reabsorção em casos que foram utilizados elásticos de Classe II e verticais em caninos superiores, pois foram estes que suportaram a força na amostra utilizada.

Alexander (1996) comparou utilização do arco segmentado com uso do arco contínuo, e concluiu não haver diferença significativa entre as duas técnicas quanto ao aparecimento da reabsorção radicular.

Sameshima e Sinclair (2001b) não encontraram diferença estatisticamente significativa no grau de reabsorção radicular quando comparado o uso dos elásticos da Classe II e os de intercuspidação. Já Linge e Linge (1983) encontraram correlação significativa entre o aumento de reabsorção e a utilização de elásticos de Classe II.

Brin *et al.* (2003) avaliaram 138 crianças com má oclusão Classe II, 1ª divisão, com overjet maior que 7 mm. Um grupo foi tratado apenas com aparelho fixo, enquanto o outro utilizou aparelho extra-oral ou bionator antes do aparelho fixo. Concluíram que quanto menor o grau de redução do overjet, menor a tendência à reabsorção. Observaram ainda que a proporção de reabsorção dos incisivos foi suavemente maior naqueles que realizaram apenas uma fase.

Um estudo realizado por Agarwal *et al.* (2016) indicou que os casos com história de extração terapêutica tiveram risco de reabsorção radicular duas vezes maior do que os casos de tratados sem extração. Uma possível explicação poderia ser o aumento do movimento dentário mesiodistal dos dentes posteriores em comparação com os casos de não extração, a fim de se fechar os espaços de extração. Guo *et al.* (2016) e Jiang, McDonald e Fu (2010) também relataram que a reabsorção radicular era mais provável em pacientes tratados com extração dentária, casos em que o movimento dentário é relativamente grande e a duração do tratamento também é na maioria das vezes maior.

Segundo Elhaddaoui *et al.* (2017) a incidência e a gravidade da reabsorção radicular associada a tratamentos com aparelhos fixos aumentam com a duração do tratamento, em casos de má oclusão de Classe II divisão 1, que requerem mecânicas mais complexas e tratamento mais prolongado, em casos de extração dentária, onde se tem maior amplitude de movimento do ápice radicular e nos casos envolvendo mordida profunda e que exigem movimentos de intrusão ou de torque, o que acarreta um alto risco de reabsorção radicular.

2.3.3.4 Duração do tratamento

McFadden *et al.* (1989) ressaltaram que o tempo de tratamento deve ser monitorado, principalmente quando é realizada a intrusão dos incisivos superiores, pois alguns pacientes podem apresentar alto risco de encurtamento radicular. Isso porque a

severidade da reabsorção aumenta com a duração do tratamento (JIANG, MCDONALD e FU, 2010; AGARWAL *et al.*, 2016).

Taithongchai, Sookkorn e Killiany (1996) demonstraram que, dentre muitas variáveis analisadas, somente a idade e o tempo de tratamento apresentam relação significativa com a reabsorção radicular. Ressaltaram que o tratamento deve cessar quando a reabsorção for diagnosticada ou então o plano de tratamento deve ser reavaliado.

Alguns autores ressaltaram que a duração do tratamento não influencia de maneira significativa a incidência e a gravidade de reabsorção radicular apical (LINGE e LINGE, 1983; LEVANDER e MALMGREN, 1988; KALEY e PHILLIPS, 1991; MIRABELLA e ARTUN, 1995; WELTMAN *et al.*, 2010).

2.4 REABSORÇÃO RADICULAR *VERSUS* SUPORTE PERIODONTAL

Apesar de representar um dano tecidual e estrutural, a reabsorção apical limitada a 3 mm do comprimento radicular é considerada um custo biológico clinicamente aceitável, durante o tratamento ortodôntico. Entretanto, não deve ser considerada normal, fisiológica ou como parte de remodelação apical. Essa redução do comprimento radicular leva a uma diminuição do suporte periodontal (PHILLIPS, 1955; CONSOLARO, 2005). Quanto maior a perda de suporte, maior o risco à estabilidade e a longevidade do elemento afetado. Por isso, mais importante do que saber o quanto se perdeu no comprimento radicular por reabsorção, é conseguir determinar o grau de perda do suporte periodontal por ela causada.

Com a finalidade de determinar a área de suporte periodontal perdida, Phillips (1955) simulou mecanicamente a reabsorção apical através de desgaste no comprimento da raiz a cada 2 mm. Para isso, utilizou 2 incisivos centrais e 2 incisivos laterais extraídos. Concluiu que um encurtamento radicular de 2, 4 e 6 mm resultam numa redução da superfície radicular de 6 a 9%, 18 a 22% e 28 a 38%, respectivamente. Entretanto, tais resultados podem não ser confiáveis, uma vez que foram obtidos através de uma pequena amostra, não levando em conta os variados comprimentos e formatos radiculares. Além disso, o desgaste mecânico foi apenas uma simulação da reabsorção radicular apical, não correspondendo à realidade.

Kalkwarf, Krejci e Pao (1986) analisaram, através de computação gráfica, a quantidade de perda de suporte periodontal que ocorre secundariamente à reabsorção radicular

apical, em um incisivo central superior direito extraído, e demonstraram que um encurtamento radicular de 8 mm correspondeu a uma redução de 50% do suporte periodontal.

2.5 MÉTODOS DIAGNÓSTICOS DA REABSORÇÃO RADICULAR APICAL

As reabsorções radiculares apicais não apresentam sintomas e geralmente são detectados em exames radiográficos de rotina (NEWMAN, 1975; WESTPHALEN, MORAES e WESTPHALEN, 2004; DUDIC *et al.*, 2009). Quando o exame radiográfico permite detectar precocemente o processo, favorece o tratamento e, conseqüentemente, melhora o prognóstico (WESTPHALEN, MORAES e WESTPHALEN, 2004).

Diversos estudos advertem para a necessidade de um exame radiográfico prévio, como rotina de diagnóstico e ao longo do tratamento (TAITHONGCHAI, SOOKKORN e KILLIANY, 1996; JANSON *et al.*, 2000; MAVRAGANI *et al.*, 2000), sempre associada a uma anamnese cuidadosa e um adequado controle da mecanoterapia para evitar lesões de reabsorção radicular extensas (MAVRAGANI *et al.*, 2000).

Existe a possibilidade dos exames radiográficos subestimarem ou superestimarem a quantidade de perda da estrutura radicular, uma vez que a informação pode ser perdida quando uma estrutura tridimensional é comprimida em uma imagem bidimensional, de modo que a sobreposição de estruturas anatômicas compromete a precisão diagnóstica (MALMGREN *et al.*, 1982; LEVANDER e MALMGREN, 1988; BLAKE, WOODSIDE e PHAROAH, 1995; JANSON *et al.*, 2000; SAMESHIMA e ASGARIFAR, 2001; APAJALAHTI e PELTOLA, 2007; DUDIC *et al.*, 2009; CASTRO *et al.*, 2013, PONDER *et al.*, 2013; FELLER *et al.*, 2016).

Na maioria dos estudos já realizados, a quantidade de reabsorção radicular foi obtida utilizando filmes de raios X bidimensionais, tais como filmes periapicais, radiografias panorâmicas e cefalometria lateral, no entanto, tais métodos não são precisos o suficiente para o estudo clínico da reabsorção radicular, uma vez que esta ocorre tridimensionalmente e em qualquer local na raiz (GUO *et al.*, 2016). A prevalência da reabsorção é próxima a 100% nos dentes examinados histologicamente e muito menor nos dentes examinados por radiografias rotineiras de duas dimensões, evidenciando essa subestimativa desses métodos diagnósticos (AGARWAL *et al.*, 2016).

Rotineiramente, a radiografia panorâmica é utilizada como ferramenta para o planejamento do tratamento ortodôntico, mas neste exame a reabsorção radicular apical pode ser superestimada em até 20% quando comparada com radiografias periapicais (SAMESHIMA e ASGARIFAR, 2001) e as periapicais subestimam a reabsorção quando comparada com a tomografia (DUDIC *et al.*, 2009; CAMPOS *et al.*, 2013).

Para Consolaro (2005), as radiografias panorâmicas não são indicadas para o diagnóstico da reabsorção radicular, pois detectam apenas lesões médias e grandes. As radiografias periapicais são mais indicadas, pois também evidenciam lesões radiculares com pequenas lacunas. Para o diagnóstico e prognóstico da reabsorção no tratamento ortodôntico, a tomografia computadorizada de feixe cônico também pode ser indicada.

Biggerstaff e Phillips (1976) compararam as técnicas radiográficas periapicais do paralelismo e da bisettriz para diagnóstico das lesões de reabsorção radicular. Concluíram que a técnica da bisettriz não deve ser utilizada no diagnóstico da reabsorção, pois apresentam maior grau de distorção coroa/raiz.

Roberts, Arbuckle e Analoui (1996) ressaltaram que durante a execução das radiografias periapicais, problemas como movimentação do paciente ou do tubo de raio x, alterações das distâncias dente-filme ou foco-dente e alterações na angulação entre o filme e o tubo de raio x, devem ser controlados, pois podem influenciar as medidas lineares das imagens obtidas.

Leach, Ireland e Whaites (2001) relataram que uma das formas mais acuradas para determinar o comprimento radicular é a utilização de telerradiografias, porém alertam quanto ao provável fator de magnificação de 5 a 12% inerentes à técnica radiográfica. Ressaltam que a telerradiografia não funciona para diagnóstico detalhado de reabsorção radicular externa. Para avaliar corretamente o grau de cuidados de reabsorção radicular externa devem ser utilizadas técnicas radiográficas que garantam imagens geometricamente precisas e, em alguns casos, pode ser necessário mais do que uma radiografia.

Mozzo *et al.* (1998) e Arai *et al.* (1999) observaram que diferentes áreas da Odontologia se beneficiaram com o aparecimento da tomografia computadorizada de feixe cônico. O exame tomográfico permite a avaliação tridimensional dos dentes com maior nível de precisão se comparada com as radiografias (PATEL *et al.*, 2009; DURACK *et al.*, 2011).

Brezniak *et al.* (2004), com o objetivo de avaliar os efeitos das mudanças angulares sobre o comprimento da imagem de um modelo de dente, compararam 3 métodos

para localização do ponto de referência no dente mais preciso. Para isso, colocaram um jig, radiografaram em 4 diferentes angulações e compararam as medições dos tamanhos da coroa e raiz no modelo com as aferidas pelo escaneamento do filme radiográfico no computador. As mudanças angulares entre o dente e o filme tiveram influência significativa sobre o tamanho do dente medido e os autores concluíram que o melhor ponto de referência para a medida do comprimento radicular é o ponto médio entre a mesial e distal da junção amelocementária.

Os exames radiográficos convencionais apresentam menor sensibilidade e especificidade quando comparadas ao diagnóstico realizado com base em tomografias computadorizadas de feixe cônico, pois imagens tridimensionais permitem uma melhor visualização de lesões localizadas nas faces vestibular ou lingual das raízes dentárias (HOLBERG *et al.*, 2005; SCARFE, FARMAN e SUKOVIC, 2006; DUDIC *et al.*, 2009). Por isso, a tomografia computadorizada cone beam é o método diagnóstico de escolha para reabsorção radicular (PONDER *et al.*, 2013; GUO *et al.*, 2016).

Dudic *et al.* (2009) compraram radiografia panorâmica com a tomografia computadorizada de feixe cônico como métodos diagnósticos da reabsorção radicular apical. Para isso, dois examinadores calibrados avaliaram cegamente a presença ou ausência e a gravidade da reabsorção radicular apical em 275 dentes - 22 pacientes - utilizando os dois exames. Foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os dois métodos, sendo a reabsorção subestimada quando avaliada em radiografias panorâmicas. A tomografia computadorizada de feixe cônico pode ser um método de diagnóstico complementar útil para a radiografia convencional, a ser aplicado quando é necessária uma decisão sobre a continuação ou modificação do tratamento ortodôntico por causa da reabsorção radicular induzida ortodonticamente.

Estrela *et al.* (2009) realizaram um estudo com objetivo de avaliar a reabsorção radicular através de tomografia computadorizada de feixe cônico. Avaliaram radiografias periapicais e tomografias de 40 pacientes e detectaram reabsorção radicular em 68,8% (83 superfícies radiculares) das radiografias e 100% (154 superfícies radiculares) dos exames tomográficos. A extensão da reabsorção era entre 1-4 mm em 95,8% das imagens tomográficas e em 52,1% das imagens obtidas por meio do método convencional. Os autores concluíram que a tomografia computadorizada possui melhor desempenho de diagnóstico da reabsorção do que a de radiografia periapical.

Lund, Grondahl e Grondahl (2010), com o intuito de avaliar a acurácia e precisão da tomografia computadorizada de feixe cônico em relação ao diagnóstico de lesões de reabsorção radicular durante o curso do tratamento ortodôntico, avaliaram 13 pacientes e 1 crânio seco através de tomografia. Concluíram que a técnica de tomografia computadorizada produz um alto nível de reprodutibilidade, tornando o diagnóstico das lesões de reabsorção mais preciso e, conseqüentemente, aumentando a sua utilidade na pesquisa ortodôntica.

Castro et al. (2013) avaliaram, através de tomografia computadorizada pré e pós-tratamento, 1.256 raízes de 30 pacientes portadores de má oclusão Classe I com apinhamento, tratados sem extração. Detectou-se reabsorção em todos os pacientes e em 46% das raízes. A tomografia computadorizada de feixe cônico foi eficaz para a detecção, mesmo em graus mínimos de reabsorção.

Ponder *et al.* (2013) realizaram um estudo com objetivo de determinar se as imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) têm resolução suficiente para quantificar com precisão os defeitos da reabsorção radicular. Dentes com defeitos radiculares simulados foram escaneados por meio de microtomografia computadorizada (microTC), tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) com baixa resolução (0,4 mm voxel) e alta resolução (0,2 mm voxel) e radiografados pela técnica periapical. Os resultados demonstraram que, em comparação com as medições a partir de imagens de microTC, as imagens de TCFC de alta resolução levam a uma quantificação volumétrica mais precisa dos defeitos de reabsorção laterais do que a TCFC de baixa resolução. Entretanto, ambos os exames tomográficos, de alta e baixa resolução, podem ser usados para medir com mais precisão os defeitos de reabsorção radicular apical do que as radiografias periapicais.

3 PROPOSIÇÃO

Objetivo geral - avaliar a área superficial e o volume radiculares da extensão da reabsorção radicular apical irregular subestimada em radiografias periapicais de incisivos superiores através de imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico.

Objetivo específico - avaliar a área superficial e o volume radicular de incisivos superiores com reabsorção radicular apical irregular e comparar com os incisivos contralaterais nos quais foi simulada uma reabsorção radicular apical regular de mesma extensão linear.

4 MATERIAL E MÉTODO

Foram avaliadas imagens de tomografias computadorizadas de feixe cônico (TCFC) de 18 incisivos (8 centrais e 10 laterais) e seus correspondentes contralaterais de 17 indivíduos sob tratamento ortodôntico com aparelho *Edgewise* (8 homens e 9 mulheres – idade média de 20,82 anos), selecionados a partir do diagnóstico de reabsorção radicular apical em um incisivo superior através de radiografias periapicais, sendo que o dente correspondente do hemiarco oposto não apresentava lesão de reabsorção radicular. Nas radiografias periapicais iniciais os incisivos contralaterais de cada paciente deveriam apresentar estruturas radiculares semelhantes, sem alterações morfológicas, reabsorções radiculares ou tratamento endodôntico.

Os exames de TCFC utilizados pertencem ao arquivo do Grupo de Pesquisa em Ortodontia e Odontopediatria da UFJF. Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Juiz de Fora com o parecer nº 463/2008.

Os exames de TCFC foram realizados 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 160mm de diâmetro e 100mm de altura. Para realização do exame, 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 (Campos *et al.*, 2013).

As tomografias foram analisadas com o auxílio do *software* Invesalius 3.0 (Centro de Informação Renato Archer - Campinas/SP). Com a finalidade de padronizar as imagens para análise, as tomografias foram reorientadas, utilizando a ferramenta “*reorient image*”, de forma que o longo eixo de cada incisivo coincidissem com a interseção dos cortes coronal e axial, permitindo que o dente assumisse uma posição vertical com o corte sagital perpendicular a borda incisal (Figura 1).

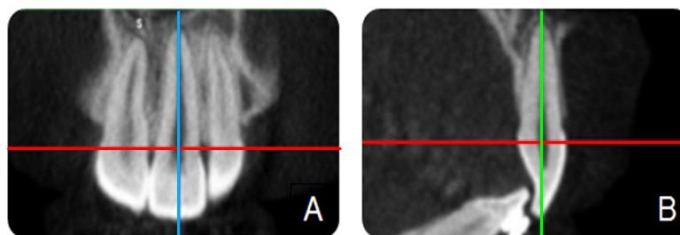


Figura 1 - Corte coronal (A) e sagital (B) de um incisivo superior demonstrando o posicionamento vertical do mesmo.

Foram traçadas duas linhas perpendiculares ao longo eixo radicular. A linha AC, passando pelos pontos médios das junções amelocementárias vestibular e palatina, e a linha MC, traçada no maior comprimento radicular do dente com reabsorção irregular (Figura 2).

A mensuração do maior comprimento radicular do incisivo com reabsorção radicular irregular foi realizada com o auxílio da ferramenta “medir distância”, clicando num ponto na linha AC e em outro na linha MC, gerando uma linha reta com a respectiva medida em mm. Essa mesma medida foi transferida, a partir da linha AC, para o incisivo contralateral sem reabsorção e foi excluída toda a porção superior a essa linha MC perpendicular ao longo eixo radicular, simulando assim uma reabsorção radicular regular (Figura 2).

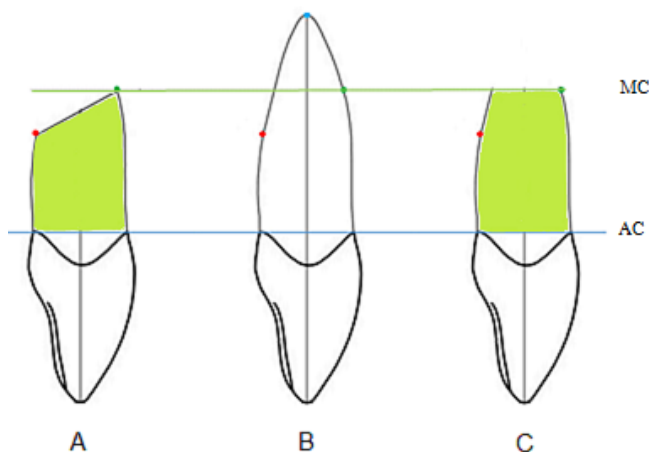


Figura 2 - **A** - Incisivo com reabsorção irregular; **B** - Incisivo sem reabsorção (área acima da linha superior foi excluída); e **C** - Incisivo com reabsorção regular simulada. Região de interesse demarcada em verde.

A região de interesse era toda estrutura radicular do incisivo compreendida entre a linha AC até a linha MC (Figura 2). Para seleção desta criou-se uma máscara com limiar personalizado, com mínimo em torno de 1000 e máximo próximo a 2000, variando conforme o contraste de cada tomografia (Figura 3).

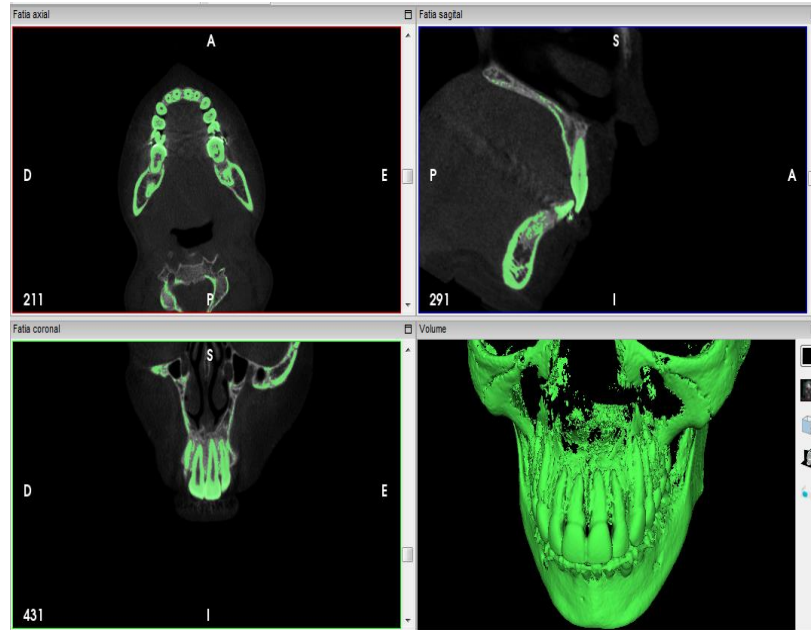


Figura 3 – Áreas selecionadas após a aplicação da máscara.

Para que fosse selecionada apenas a raiz do dente de interesse, fez-se necessário o recontorno e ajuste manual, através da ferramenta “edição manual - apagar”. Procedeu-se com o retoque da porção radicular em todas as fatias que compreenderam a região de interesse nos cortes axial, coronal e sagital com o auxílio das ferramentas “edição manual - apagar e desenhar”. Também foi necessário preencher o conduto radicular manualmente (Figura 4).

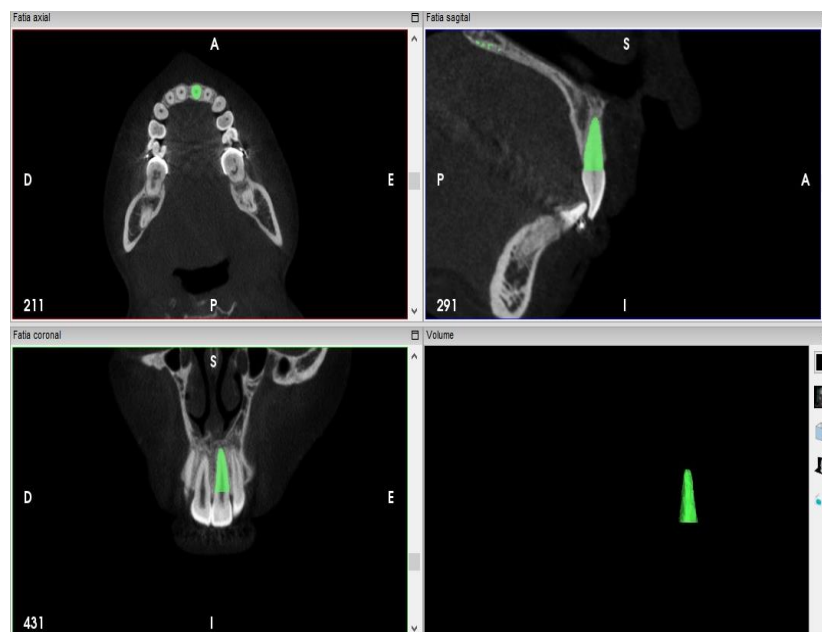


Figura 4 – Região de interesse selecionada após a edição manual em todos os cortes e a representação tridimensional do mesmo.

Assim, obteve-se a representação tridimensional da raiz (ferramenta “criar superfície”) (Figura 4), já com suas respectivas medidas em mm^2 (área superficial) e mm^3 (volume), geradas automaticamente pelo software.

Análise estatística

O erro médio da mensuração das variáveis foi calculado pelo coeficiente de correlação intraclasse, com medidas realizadas com intervalo de 30 dias de 5 pacientes. O padrão de distribuição das variáveis foi determinado pelo teste Shapiro-Wilk. As áreas superficiais e os volumes radiculares foram comparados utilizando o teste t de Student para amostras pareadas. A análise estatística foi realizada com nível de significância de 0,05% e processada com software SPSS Statistics 17.0.0 (SPSS Inc., Chicago, USA).

5 RESULTADOS

O coeficiente de correlação intraclasse para as medidas de área das raízes foi 0,964, indicando excelente concordância (Conover, 1999).

A tabela 1 mostra os valores do teste de normalidade das áreas superficiais e volumes radiculares para cada grupo de incisivos, onde as duas variáveis exibiram uma distribuição normal.

Tabela 1 - Teste de normalidade das variáveis avaliadas.

| | Reabsorção irregular | | Reabsorção regular | |
|------------------|----------------------|-------|--------------------|-------|
| | Teste* | P | Teste* | P |
| Volume | 0,958 | 0,555 | 0,975 | 0,878 |
| Área Superficial | 0,964 | 0,671 | 0,967 | 0,738 |

* Teste de Shapiro-Wilk

As médias e desvios-padrão das áreas superficiais e volumes das raízes dos incisivos com reabsorção irregular e regular simulada são descritas na tabela 2. A área superficial e o volume dos dentes com reabsorção regular foi significativamente maior do que os dentes com reabsorção irregular.

Tabela 2 - Média das áreas superficiais e volumes dos incisivos com reabsorção radicular irregular e regular simulada e comparação entre os mesmos.

| | Reabsorção irregular | | Reabsorção regular simulada | | P valor* |
|-------------------------------------|----------------------|-----------|-----------------------------|-----------|----------|
| | Média | DP | Média | DP | |
| Volume (mm ³) | 193.576,33 | 54.105,86 | 213.993,55 | 53.194,77 | <0,001 |
| Área Superficial (mm ²) | 208.817,77 | 43.116,85 | 232.313,11 | 49.902,70 | <0,001 |

*Teste T para amostras pareadas.

Nesta amostra, houve uma diferença média de 20.932 mm³ e 23.495 mm² entre as raízes com reabsorção irregular e regular simulada, o que corresponde a uma diferença de 9,97% do volume radicular e 9,81% da área superficial.

6 DISCUSSÃO

A reabsorção radicular apical acomete principalmente os incisivos superiores (RUDOLPH, 1936; PHILLIPS, 1955; VONDERAHE, 1973; BREZNIAK e WASSERSTEIN, 2002; WELTMAN et al., 2010). Kaley e Phillips (1991) observaram que 90% dos incisivos centrais superiores apresentavam reabsorção radicular, sendo por isso os incisivos centrais e laterais superiores os escolhidos para compor a amostra deste estudo.

A amostra foi composta por incisivos com e sem reabsorção radicular apical do mesmo paciente, o que permitiu o controle de fatores associados a essa alteração, como fatores genéticos e sistêmicos, sexo e idade (NEWMAN, 1975; HARRIS et al. 1997; SAMESHIMA e SINCLAIR, 2001; HARTSFIELD, 2004). Também foram controlados, durante a seleção dos pacientes, outros fatores individuais associados ao maior risco de RRA como histórico de trauma dentário (MALMGREN et al., 1982; LINGE e LINGE, 1991; BREZNIAK e WASSERSTEIN, 2002) e morfologia radicular (LEVANDER e MALMGREN, 1988; MIRABELLA e ÅRTUN, 1995; SAMESHIMA e SINCLAIR, 2001; SMALE et al., 2005). Além disso, as más oclusões deveriam ser simétricas para que não houvesse necessidade de aplicação de forças diferente nos hemiarcos superiores, o que poderia interferir na presença e extensão da RRA (KALEY e PHILLIPS, 1991; LINGE e LINGE, 1991; PARKER e HARRIS, 1998; SAMESHIMA e SINCLAIR, 2001; HARRIS, 2006; WELTMAN et al., 2010).

Rotineiramente, a radiografia periapical é utilizada como ferramenta para o planejamento do tratamento ortodôntico, porém este método possibilita uma visualização subestimada da extensão da lesão de reabsorção radicular (DUDIC *et al.*, 2009; CAMPOS *et al.*, 2013). Isso ocorre, pois, nesses exames, há uma sobreposição das estruturas no sentido vestibulo-lingual permitindo apenas a visualização do maior comprimento radicular, ocultando a área mais acometida pela reabsorção apical (DUDIC et al., 2009; LERMEN et al., 2010). Campos *et al.* (2013) demonstraram que a diferença entre o maior comprimento radicular e a extensão da raiz acometida por reabsorção radicular apical é, em média, 1,35mm o que representou 11,6% do comprimento radicular.

O encurtamento radicular resulta numa redução da área de superfície da raiz e uma conseqüente diminuição do suporte periodontal, assim, a quantificação da redução do comprimento radicular possui significado clínico limitado, sendo mais importante determinar

o suporte periodontal restante do dente avaliado. (CONSOLARO, 2005). Um estudo preliminar (Gomes, 2014) comparou a área radicular do corte sagital central das raízes de incisivos superiores com reabsorção radicular apical irregular e regular simulada no mesmo comprimento radicular a fim de avaliar se a subestimativa da extensão da lesão de reabsorção apical gerada pela radiografia periapical influencia na área da raiz afetada, não sendo identificada diferença significativa na área radicular total.

Neste estudo foi verificado que a simulação de uma reabsorção radicular apical regular resultou em área e volume significativamente maior do que nos dentes com reabsorção radicular apical irregular com o mesmo comprimento radicular. Isso sugere que a subestimativa da extensão de lesões de reabsorção radicular apical associada aos métodos radiográficos de sobreposição, exerce influência na área superficial e volume da estrutura radicular.

Poucos estudos abordaram a relação entre o encurtamento radicular e a perda de suporte periodontal. Phillips (1955) relatou uma redução da superfície radicular de 6 a 9%, 18 a 22% e 28 a 38% após o encurtamento radicular mecânico de 2, 4 e 6 mm do comprimento radicular, respectivamente. Já Kalkwarf, Krejci e Pao (1986) simularam o encurtamento radicular de 1 incisivo através de computação gráfica e relataram que uma redução do comprimento radicular de 8 mm correspondeu a uma redução de 50% do suporte periodontal. Entretanto, os resultados desses estudos podem não ser confiáveis, uma vez que foram obtidos através de uma pequena amostra, não levando em conta os variados formatos radiculares.

A reabsorção radicular ocorre tridimensionalmente de formas variadas e exames bidimensionais não são capazes de demonstrar fielmente a área lesionada (SAMESHIMA e SINCLAIR, 2001a). Apesar de a extensão da lesão de reabsorção radicular apical ser subestimada em radiografias periapicais ((DUDIC *et al.*, 2009, CAMPOS *et al.*, 2013), o presente estudo mostrou que essa subestimativa é menor que 10% do volume e da área radicular, o que indicaria o uso deste método radiográfico devido a menor dose de radiação e à necessidade de realização de repetidos exames para acompanhamento durante o tratamento ortodôntico. Entretanto, quando estas atingem um grau moderado de acometimento radicular, a tomografia computadorizada deve ser utilizada para avaliação da real extensão da lesão.

7 CONCLUSÃO

A extensão da reabsorção radicular apical irregular subestimada em radiografias periapicais de incisivos superiores representou aproximadamente 10% da área superficial e do volume radiculares totais quando comparadas à uma reabsorção radicular apical regular simulada no mesmo comprimento radicular.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, S. S.; CHOPRA, S. S.; KUMAR, P.; JAYAN, B.; NEHRA, K., SHARMA, M. A radiographic study of external apical root resorption in patients treated with single-phase fixed orthodontic therapy. **Medical Journal Armed Forces India**, v. 72, n. 1, p: s8-s16, Dec 2016.
- AL-QAWASMI, R. A.; HARTSFIELD, J. K., JR.; EVERETT, E. T.; FLURY, L.; LIU, L.; FOROUD, T. M.; MACRI, J. V.; ROBERTS, W. E. Genetic predisposition to external apical root resorption. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 123, n. 3, p. 242-52, Mar 2003.
- AL-QAWASMI, R. A.; HARTSFIELD, J. K., JR.; EVERETT, E. T.; WEAVER, M. R.; FOROUD, T. M.; FAUST, D. M.; ROBERTS, W. E. Root resorption associated with orthodontic force in inbred mice: genetic contributions. **Eur J Orthod**, Oxford, v. 28, n. 1, p. 13-9, Feb 2006.
- ALEXANDER, S. A. Levels of root resorption associated with continuous arch and sectional arch mechanics. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 110, n. 3, p. 321-4, Sep 1996.
- ALQABANDI, A. K.; SADOWSKY, C.; BEGOLE, E. A. A comparison of the effects of rectangular and round arch wires in leveling the curve of Spee. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 116, n. 5, p. 522-9, Nov 1999.
- APAJALAHTI, S.; PELTOLA, J. S. Apical root resorption after orthodontic treatment -- a retrospective study. **Eur J Orthod**, Oxford, v. 29, n. 4, p. 408-12, Aug 2007.
- ARAI, Y.; TAMMISALO, E.; IWAI, K.; HASHIMOTO, K.; SHINODA, K. Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use. **Dentomaxillofac Radiol**, London, v. 28, n. 4, p. 245-8, Jul 1999.
- BAUMRIND, S.; KORN, E. L.; BOYD, R. L. Apical root resorption in orthodontically treated adults. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 110, n. 3, p. 311-20, Sep 1996.
- 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, n. 4, p. 350-61, Apr 1994.
- BIGGERSTAFF, R. H.; PHILLIPS, J. R. A quantitative comparison of paralleling long-cone and bisection-of-angle periapical radiography. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol**, St. Louis, v. 62, n. 5, p. 673-7, May 1976.
- 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, n. 1, p. 76-84, Jul 1995.
- BREZNIAK, N.; GOREN, S.; ZOIZNER, R.; DINBAR, A.; ARAD, A.; WASSERSTEIN, A.; HELLER, M. A comparison of three methods to accurately measure root length. **Angle Orthod**, Appleton, v. 74, n. 6, p. 786-91, Dec 2004.

BREZNIAK, N.; WASSERSTEIN, A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 1. Literature review. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 103, n. 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, n. 2, p. 138-46, Feb 1993b.

BREZNIAK, N.; WASSERSTEIN, A. Orthodontically induced inflammatory root resorption. Part I: The basic science aspects. **Angle Orthod**, Appleton, v. 72, n. 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, n. 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, n. 2, p. 151-6, Aug 2003.

CAMPOS, M. J.; SILVA, K. S.; GRAVINA, M. A.; FRAGA, M. R.; VITRAL, R. W. Apical root resorption: the dark side of the root. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 143, n. 4, p. 492-8, Apr 2013.

CANGIALOSI, T. J. Skeletal morphologic features of anterior open bite. **Am J Orthod**, St. Louis, v. 85, n. 1, p. 28-36, Jan 1984.

CASA, M. A.; FALTIN, R. M.; FALTIN, K.; SANDER, F. G.; ARANA-CHAVEZ, V. E. Root resorptions in upper first premolars after application of continuous torque moment. Intra-individual study. **J Orofac Orthop**, München, v. 62, n. 4, p. 285-95, Jul 2001.

CASTRO, I. O.; ALENCAR, A. H.; VALLADARES-NETO, J.; ESTRELA, C. Apical root resorption due to orthodontic treatment detected by cone beam computed tomography. **Angle Orthod**, Appleton, v. 83, n. 2, p. 196-203, Mar 2013.

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, n. 6, p. 766-7 e1-12, Dec 2009.

CHOY, K.; PAE, E. K.; PARK, Y.; KIM, K. H.; BURSTONE, C. J. Effect of root and bone morphology on the stress distribution in the periodontal ligament. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 117, n. 1, p. 98-105, Jan 2000.

CONSOLARO, A. **Reabsorções dentárias nas especialidades clínicas**. 2. ed. Maringá, PR: Dental Press, 2005. 616p

COSTOPOULOS, G.; NANDA, R. An evaluation of root resorption incident to orthodontic intrusion. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 109, n. 5, p. 543-8, May 1996.

DE FREITAS, J. C.; LYRA, O. C.; DE ALENCAR, A. H.; ESTRELA, C. Long-term evaluation of apical root resorption after orthodontic treatment using periapical radiography and cone beam computed tomography. **Dental Press J Orthod**, Maringá, v. 18, n. 4, p. 104-12, Jul-Aug 2013.

DE ROSSI, A.; DE ROSSI, M.; ROCHA, L. B.; DA SILVA, L. A.; ROSSI, M. A. Morphometric analysis of experimentally induced periapical lesions: radiographic vs histopathological findings. **Dentomaxillofac Radiol**, London, v. 36, n. 4, p. 211-7, May 2007.

DERMAUT, L. R.; DE MUNCK, A. Apical root resorption of upper incisors caused by intrusive tooth movement: a radiographic study. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 90, n. 4, p. 321-6, Oct 1986.

DESHIELDS, R. W. A study of root resorption in treated Class II, Division I malocclusions. **Angle Orthod**, Appleton, v. 39, n. 4, p. 231-45, Oct 1969.

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, n. 4, p. 434-7, Apr 2009.

DURACK, C.; PATEL, S.; DAVIES, J.; WILSON, R.; MANNOCCI, F. Diagnostic accuracy of small volume cone beam computed tomography and intraoral periapical radiography for the detection of simulated external inflammatory root resorption. **Int Endod J**, Oxford, v. 44, n. 2, p. 136-47, Feb 2011.

ELHADDAOUI, R.; QORAICH H, S.; BAHJE, L.; ZAOUI, F. Orthodontic aligners and root resorption: A systematic review. **International Orthodontics**; v.15, n. 1, p. 1-12, Mar 2017.

ESTRELA, C.; BUENO, M. R.; DE ALENCAR, A. H.; MATTAR, R.; VALLADARES NETO, J.; AZEVEDO, B. C.; DE ARAUJO ESTRELA, C. R. Method to evaluate inflammatory root resorption by using cone beam computed tomography. **J Endod**, Columbus, v. 35, n. 11, p. 1491-7, Nov 2009.

FALTIN, R. M.; FALTIN, K.; SANDER, F. G.; ARANA-CHAVEZ, V. E. Ultrastructure of cementum and periodontal ligament after continuous intrusion in humans: a transmission electron microscopy study. **Eur J Orthod**, Oxford, v. 23, n. 1, p. 35-49, Feb 2001.

FELLER, L.; KHAMMISSA, A. G.; THOMADAKIS, G; FOURIE, J.; LEMMER, J. Apical External Root Resorption and Repair in Orthodontic Tooth Movement: Biological Events. **BioMed Research International**, Mar 2016.

FRITZ, U.; DIEDRICH, P.; WIECHMANN, D. Apical root resorption after lingual orthodontic therapy. **J Orofac Orthop**, München, v. 64, n. 6, p. 434-42, Nov 2003.

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, n. 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, n. 3, p. 208-19, Mar 1989.

GOMES, H. V. **Avaliação da área radicular de incisivos superiores com reabsorção radicular apical irregular e regular simulada**. Juiz de Fora (MG), 2014. 55f. Monografia (Curso de Especialização em Ortodontia) - Faculdade de Odontologia, Universidade Federal de Juiz de Fora.

GRABER, T. M.; VANARSDALL JUNIOR, R. L. **Ortodontia: princípios e técnicas atuais**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002.

GUO, Y.; HE, S.; GU, T.; LIU, Y.; CHEN, S. Genetic and clinical risk factors of root resorption associated with orthodontic treatment. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 150, n. 2, p. 283-9, Aug 2016.

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, n. 5, p. 639-47, Nov 2006.

HARRIS, E. F.; BAKER, W. C. Loss of root length and crestal bone height before and during treatment in adolescent and adult orthodontic patients. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 98, n. 5, p. 463-9, Nov 1990.

HARRIS, E. F.; BUTLER, M. L. Patterns of incisor root resorption before and after orthodontic correction in cases with anterior open bites. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 101, n. 2, p. 112-9, Feb 1992.

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, n. 3, p. 301-9, Mar 1997.

HARTSFIELD, J. K., JR.; 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, n. 2, p. 115-122, 2004.

HENDRIX, I.; CARELS, C.; KUIJPERS-JAGTMAN, A. M.; VAN, T. H. M. A radiographic study of posterior apical root resorption in orthodontic patients. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 105, n. 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**, München, v. 66, n. 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, n. 3, p. 311-8, Sep 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 Invest**, v. 15, p. 511-9 2010.

JANSON, G. R.; DE LUCA CANTO, G.; MARTINS, D. R.; HENRIQUES, J. F.; DE FREITAS, M. R. A radiographic comparison of apical root resorption after orthodontic treatment with 3 different fixed appliance techniques. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 118, n. 3, p. 262-73, Sep 2000.

JIANG, R; MCDONALD, JP; FU, M. Root resorption before and after orthodontic treatment: a clinical study of contributory factors. **Eur J Orthod**, v. 32, n. 6, p. 693-97, Dez 2010.

KALEY, J.; PHILLIPS, C. Factors related to root resorption in edgewise practice. **Angle Orthod**, Appleton, v. 61, n. 2, p. 125-32, Summer 1991.

KALKWARF, K. L.; KREJCI, R. F.; PAO, Y. C. Effect of apical root resorption on periodontal support. **J Prosthet Dent**, v. 56, n. 3, p. 317-9, Sep 1986.

KENNEDY, D. B.; JOONDEPH, D. R.; OSTERBERG, S. K.; LITTLE, R. M. The effect of extraction and orthodontic treatment on dentoalveolar support. **Am J Orthod**, St. Louis, v. 84, n. 3, p. 183-90, Sep 1983.

KJAER, I. Morphological characteristics of dentitions developing excessive root resorption during orthodontic treatment. **Eur J Orthod**, Oxford, v. 17, n. 1, p. 25-34, Feb 1995.

KOOK, Y. A.; PARK, S.; SAMESHIMA, G. T. Peg-shaped and small lateral incisors not at higher risk for root resorption. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 123, n. 3, p. 253-8, Mar 2003.

KUROL, J.; OWMAN-MOLL, P.; LUNDGREN, D. Time-related root resorption after application of a controlled continuous orthodontic force. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 110, n. 3, p. 303-10, Sep 1996.

LEACH, H. A.; IRELAND, A. J.; WHAITES, E. J. Radiographic diagnosis of root resorption in relation to orthodontics. **Br Dent J**, London, v. 190, n. 1, p. 16-22, Jan 13 2001.

LEE, R. Y.; ARTUN, J.; ALONZO, T. A. Are dental anomalies risk factors for apical root resorption in orthodontic patients? **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 116, n. 2, p. 187-95, Aug 1999.

LERMEN, C. A.; LIEDKE, G. S.; DA SILVEIRA, H. E.; DA SILVEIRA, H. L.; MAZZOLA, A. A.; DE FIGUEIREDO, J. A. Comparison between two tomographic sections in the diagnosis of external root resorption. **J Appl Oral Sci**, Bauru, v. 18, n. 3, p. 303-7, May-Jun 2010.

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, n. 1, p. 30-8, Feb 1988.

LINDSKOG, S.; BLOMLOF, L.; HAMMARSTROM, L. Cellular colonization of denuded root surfaces in vivo: cell morphology in dentin resorption and cementum repair. **J Clin Periodontol**, Malden, v. 14, n. 7, p. 390-5, Aug 1987.

LINGE, B. O.; LINGE, L. Apical root resorption in upper anterior teeth. **Eur J Orthod**, Oxford, v. 5, n. 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, n. 1, p. 35-43, Jan 1991.

LUND, H.; GRONDAHL, K.; GRONDAHL, H. G. Cone beam computed tomography for assessment of root length and marginal bone level during orthodontic treatment. **Angle Orthod**, Appleton, v. 80, n. 3, p. 466-73, May 2010.

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.

MALMGREN, O.; GOLDSON, L.; HILL, C.; ORWIN, A.; PETRINI, L.; LUNDBERG, M. Root resorption after orthodontic treatment of traumatized teeth. **Am J Orthod**, St. Louis, v. 82, n. 6, p. 487-91, Dec 1982.

MAVRAGANI, M.; VERGARI, A.; SELLISETH, N. J.; BOE, O. E.; WISTH, P. L. A radiographic comparison of apical root resorption after orthodontic treatment with a standard edgewise and a straight-wire edgewise technique. **Eur J Orthod**, Oxford, v. 22, n. 6, p. 665-74, Dec 2000.

MCFADDEN, W. M.; ENGSTROM, C.; ENGSTROM, H.; ANHOLM, J. M. A study of the relationship between incisor intrusion and root shortening. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 96, n. 5, p. 390-6, Nov 1989.

MCNAB, S.; BATTISTUTTA, D.; TAVERNE, A.; SYMONS, A. L. External apical root resorption following orthodontic treatment. **Angle Orthod**, Appleton, v. 70, n. 3, p. 227-32, Jun 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, n. 3, p. 256-62, Sep 1981.

MIRABELLA, A. D.; ARTUN, J. Risk factors for apical root resorption of maxillary anterior teeth in adult orthodontic patients. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 108, n. 1, p. 48-55, Jul 1995.

MISCH, C. E. Density of bone: effect on treatment plans, surgical approach, healing, and progressive boen loading. **Int J Oral Implantol**, New York, v. 6, n. 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, n. 9, p. 1558-64, 1998.

NAHOUM, H. I. Anterior open-bite: a cephalometric analysis and suggested treatment procedures. **Am J Orthod**, St. Louis, v. 67, n. 5, p. 523-21, May 1975.

NANDA, R. S.; KHAN, I.; ANAND, R. Effect of oral habits on the occlusion in preschool children. **ASDC J Dent Child**, Chicago, v. 39, n. 6, p. 449-52, Nov-Dec 1972.

NEWMAN, W. G. Possible etiologic factors in external root resorption. **Am J Orthod**, St. Louis, v. 67, n. 5, p. 522-39, May 1975.

ODENRICK, L.; BRATTSTROM, V. The effect of nailbiting on root resorption during orthodontic treatment. **Eur J Orthod**, Oxford, v. 5, n. 3, p. 185-8, Aug 1983.

ODENRICK, L.; BRATTSTROM, V. Nailbiting: frequency and association with root resorption during orthodontic treatment. **Br J Orthod**, London, v. 12, n. 2, p. 78-81, Apr 1985.

OPPENHEIM, A. Biologic orthodontic therapy and reality. **Angle Orthod**, Appleton, v. 6, n. 3, p. 153-183, July 1936.

OTIS, L. L.; HONG, J. S.; TUNCAY, O. C. Bone structure effect on root resorption. **Orthod Craniofac Res**, Oxford, v. 7, n. 3, p. 165-77, Aug 2004.

OWMAN-MOLL, P. Orthodontic tooth movement and root resorption with special reference to force magnitude and duration. A clinical and histological investigation in adolescents. **Swed Dent J Suppl**, Malmö, v. 105, p. 1-45, 1995.

OWMAN-MOLL, P.; KUROL, J.; LUNDGREN, D. Continuous versus interrupted continuous orthodontic force related to early tooth movement and root resorption. **Angle Orthod**, Appleton, v. 65, n. 6, p. 395-402, 1995a.

OWMAN-MOLL, P.; KUROL, J.; LUNDGREN, D. Repair of orthodontically induced root resorption in adolescents. **Angle Orthod**, Appleton, v. 65, n. 6, p. 403-10, 1995b.

PARKER, R. J.; HARRIS, E. F. Directions of orthodontic tooth movements associated with external apical root resorption of the maxillary central incisor. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 114, n. 6, p. 677-83, Dec 1998.

PATEL, S.; DAWOOD, A.; WILSON, R.; HORNER, K.; MANNOCCI, F. The detection and management of root resorption lesions using intraoral radiography and cone beam computed tomography - an in vivo investigation. **Int Endod J**, Oxford, v. 42, n. 9, p. 831-8, Sep 2009.

PHILLIPS, J. R. Apical root resorption under orthodontic therapy. **Angle Orthod**, Appleton, v. 25, n. 1, p. 1-22, Jan 1955.

PONDER, S. N.; BENAVIDES, E.; KAPILA, S.; HATCH, N. E. Quantification of external root resorption by low- vs high-resolution cone-beam computed tomography and periapical radiography: A volumetric and linear analysis. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 143, n. 1, p. 77-91, Jan 2013.

POUMPROS, E.; LOBERG, E.; ENGSTROM, C. Thyroid function and root resorption. **Angle Orthod**, Appleton, v. 64, n. 5, p. 389-93; discussion 394, 1994.

REITAN, K. Initial tissue behavior during apical root resorption. **Angle Orthod**, Appleton, v. 44, n. 1, p. 68-82, Jan 1974.

ROBERTS, W. E.; ARBUCKLE, G. R.; ANALOUI, M. Rate of mesial translation of mandibular molars using implant-anchored mechanics. **Angle Orthod**, Appleton, v. 66, n. 5, p. 331-8, 1996.

RONNERMAN, A.; LARSSON, E. Overjet, overbite, intercanine distance and root resorption in orthodontically treated patients. A ten year follow-up study. **Swed Dent J**, Malmö, v. 5, n. 1, p. 21-7, 1981.

RUDOLPH, C. E. A comparative study in root resorption in permanent teeth. **J Am Dent Ass**, Chicago, v. 23, p. 822-826, May 1936.

RUDOLPH, D. J.; WILLES, P. M. G.; SAMESHIMA, G. T. A finite element model of apical force distribution from orthodontic tooth movement. **Angle Orthod**, Appleton, v. 71, n. 2, p. 127-31, Apr 2001.

RYGH, P. Orthodontic root resorption studied by electron microscopy. **Angle Orthod**, Appleton, v. 47, n. 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.; ASGARIFAR, K. O. Assessment of root resorption and root shape: periapical vs panoramic films. **Angle Orthod**, Appleton, v. 71, n. 3, p. 185-9, Jun 2001.

SAMESHIMA, G. T.; SINCLAIR, P. M. Predicting and preventing root resorption: Part I. Diagnostic factors. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 119, n. 5, p. 505-10, May 2001a.

SAMESHIMA, G. T.; SINCLAIR, P. M. Predicting and preventing root resorption: Part II. Treatment factors. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 119, n. 5, p. 511-5, May 2001b.

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, n. 1, p. 75-80, Feb 2006.

SHANNON, K. R.; NANDA, R. S. Changes in the curve of Spee with treatment and at 2 years posttreatment. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 125, n. 5, p. 589-96, May 2004.

SHARPE, W.; REED, B.; SUBTELNY, J. D.; POLSON, A. Orthodontic relapse, apical root resorption, and crestal alveolar bone levels. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 91, n. 3, p. 252-8, Mar 1987.

SHAW, A. M.; SAMESHIMA, G. T.; VU, H. V. Mechanical stress generated by orthodontic forces on apical root cementum: a finite element model. **Orthod Craniofac Res**, Oxford, v. 7, n. 2, p. 98-107, May 2004.

SMALE, I.; ARTUN, 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, n. 1, p. 57-67, Jul 2005.

SPURRIER, S. W.; HALL, S. H.; JOONDEPH, D. R.; SHAPIRO, P. A.; RIEDEL, R. A. A comparison of apical root resorption during orthodontic treatment in endodontically treated and vital teeth. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 97, n. 2, p. 130-4, Feb 1990.

STUTEVILLE, B. S. Injuries caused by orthodontic forces and the ultimate results of these injuries. **Amer J Orthodont Oral Surg**, St. Louis, v. 24, n. 2, Feb 1938.

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.

TAITHONGCHAI, R.; SOOKKORN, K.; KILLIANY, D. M. Facial and dentoalveolar structure and the prediction of apical root shortening. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 110, n. 3, p. 296-302, Sep 1996.

THONGUDOMPORN, U.; FREER, T. J. Anomalous dental morphology and root resorption during orthodontic treatment: a pilot study. **Aust Orthod J**, Brisbane, v. 15, n. 3, p. 162-7, Oct 1998.

VONDERAHE, G. Postretention status of maxillary incisors with root-end resorption. **Angle Orthod**, Appleton, v. 43, n. 3, p. 247-55, Jul 1973.

WEILAND, F. Constant versus dissipating forces in orthodontics: the effect on initial tooth movement and root resorption. **Eur J Orthod**, Oxford, v. 25, n. 4, p. 335-42, Aug 2003.

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, n. 4, p. 462-76; discussion 12A, Apr 2010.

WESTPHALEN, V. P.; MORAES, I. G.; WESTPHALEN, F. H. Efficacy of conventional and digital radiographic imaging methods for diagnosis of simulated external root resorption. **J Appl Oral Sci**, Bauru, v. 12, n. 2, p. 108-12, Jun 2004.

WILSON, A. N.; MIDDLETON, J.; JONES, M. L.; MCGUINNESS, N. J. The finite element analysis of stress in the periodontal ligament when subject to vertical orthodontic forces. **Br J Orthod**, London, v. 21, n. 2, p. 161-7, May 1994.

APÊNDICE A – Artigo Submetido**REABSORÇÃO RADICULAR APICAL: COMPARAÇÃO ENTRE IMAGEM SIMULADA DE EXAMES BIDIMENSIONAIS COM IMAGEM TOMAGRÁFICA.**

Helen Vidon Gomes
Marcio José da Silva Campos
Sergio Luiz Mota Júnior
Robert Willer Farinazzo Vitral

ABSTRACT

Apical root resorption, a consequence of tooth movement, is characterized by loss of tooth structure. This reduction in root length leads to a decrease in periodontal support and, consequently, may increase the risk to the stability and longevity of the affected element. The objective of this study was to evaluate the surface area and root volume of upper incisors with irregular apical root resorption and to compare them with the contralateral incisors in which a regular apical root resorption of the same linear extension was simulated. CT images of 18 incisors with ARR and their contralateral without ARR were evaluated in 17 patients (8 men and 9 women), with a mean age of 20.82 years. The root surface area and volume of the incisors with irregular and regular simulated resorption were measured in the images obtained with the software InVesalius 3.0 (Renato Archer Information Technology Center - Campinas / SP). The root surface area of teeth with simulated regular resorption was significantly higher than that of teeth with irregular resorption ($p = 0.00$). The incisors with simulated regular resorption also presented significantly larger volume than the incisors with irregular resorption ($p = 0.00$). There was a significant difference in root surface area and volume between incisors with simulated regular reabsorption - estimated by transverse cutting of the root - and irregular, which corresponded to an underestimate of 9.97% of the root volume and 9.81% of the surface area.

Keywords: Root resorption; Orthodontics; Cone-Beam Computed Tomography.

INTRODUCTION

Apical root resorption is a frequent consequence of orthodontic movement, presenting a variable and unpredictable extent^{1,2,3}. It is characterized by the loss of tooth structure due to the disappearance of the cementoblasts of the root surface^{3,4,5,6}. This is due to the compression of the vessels of the periodontal ligament caused by the force applied on the tooth^{3,6}.

Although representing tissue and structural damage, apical resorption limited to 3 mm of root length is considered a clinically acceptable biological cost during orthodontic treatment, but should not be considered normal, physiological or as part of apical remodeling. This reduction in root length leads to a decrease in periodontal support^{3,7}.

As they are asymptomatic, radicular resorptions are usually diagnosed through routine radiographs, such as panoramic and periapical radiographs^{8,9,10}. Both have limitations, since they provide two-dimensional images of three-dimensional structures^{3,11}. Panoramics, in addition to overestimating bone loss by 20% when compared to periapical, provides few details and has many distortions¹², and should not be used as a diagnostic method for resorptions³. The periapical preclude the quantification of resorption, once the dental surfaces overlap, underestimating the extent of the lesions¹⁰, besides restricting the detection of changes in the palatal and vestibular surfaces, making it difficult to visualize initial lesions^{3,11}. The main advantage of computed tomography is that it allows the representation of the dental structure in three dimensions, allowing an adequate interpretation of the real defects caused by reabsorption¹³. However, due to the high radiation dose, this method is not suitable for monitoring the resorption during orthodontic treatment, because patients would need to undergo several tests and the cost is much more expensive¹⁴.

Especially indicated for the dentomaxillofacial region, cone beam computed tomography (CBCT)^{15,16} presents as advantages the reduction of radiation to 1/60 of the dose of multislice tomography, targeting of the radiation to the area of interest through the use of collimator, possibility of reconstruction of the original image with the use of voxels and reduction of the time required for the examination^{17,18,19,20}.

The present study aimed to evaluate the root surface area and volume of upper incisors with irregular apical root resorption and compare them with the contralateral incisors in which a regular apical root resorption of the same linear extension was simulated.

MATERIALS AND METHODS

Were evaluated CBCT images of 18 incisors (8 central and 10 lateral) and their contralateral counterparts from 17 individuals under orthodontic treatment with an edgewise device (8 males and 9 females - mean age of 20.82 years), selected from the diagnosis of apical root resorption in a superior incisor through periapical radiographs, and the corresponding tooth of the opposite hemiarco presented no lesion of root resorption. In the initial periapical radiographs the corresponding incisors of each patient should have similar root structures, without morphological changes, root resorption or endodontic treatment.

This study has been approved by the Ethics Committee of the..... (Approval number 463/2008). All individuals participated voluntarily in this study, and informed written consent was obtained after thorough explanation about the procedures was given.

The CBCT exams were performed with the i-CAT scanner (Imaging Sciences International, Hatfield, PA, USA) operated at 120kV and 3-8mA, voxel size of 0.25mm, rotation time of 26.9s, and a field of view (FOV) with a diameter of 160mm and height of 100mm. For image acquisition, each individual was seated with the chin on the chin rest, with the Frankfurt plane parallel to the floor, the midsagittal plane perpendicular to the floor, and the mandible in maximum habitual intercuspation. The FOV was positioned in a way that the occlusal plane could occupy its vertical center and the anterior nasal spine could be 35mm distant from its anterior border, inside the FOV²¹.

The CBCT scans were analyzed with Invesalius 3.0 software (Renato Archer Information Center - Campinas / SP). In order to standardize the images for analysis, the scans were reoriented using the "reorient image" tool, so that the long axis of each incisor coincided with the intersection of the coronal and axial sections, allowing the tooth to assume a vertical position with the sagittal cut perpendicular to the incisal edge (Figure 1).

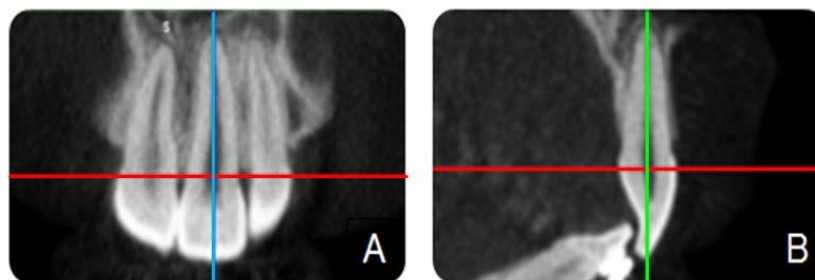


Figure 1 - Coronal (A) and sagittal (B) sections of an upper incisor demonstrating the vertical positioning of the incisor.

The measurement of the largest root length of the incisor with irregular root resorption was performed using the tool "measure distance". This same measure was transferred to the contralateral incisor without resorption and the entire upper portion was excluded from this line perpendicular to the long root axis, thus simulating a regular root resorption (Figure 2).

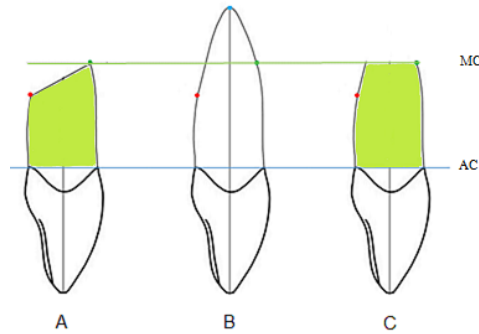


Figure 2 - **A** - Incisor with irregular resorption; **B** - Incisor without resorption (area above the upper line was excluded); And **C** - Incisor with simulated regular resorption. **MC** - line perpendicular to the long root axis drawn in the largest root length of the tooth with irregular reabsorption. **AC** - line passing through the middle points of the vestibular and palatine amelocementary junctions. Region of interest demarcated in green.

The region of interest was any root structure comprised between the cementoamelous line and the line corresponding to the largest root length (Figure 2). To select this, a mask with a personalized threshold was created, with a minimum of 1000 and maximum close to 2000, varying according to the contrast of each tomography (Figure 3).

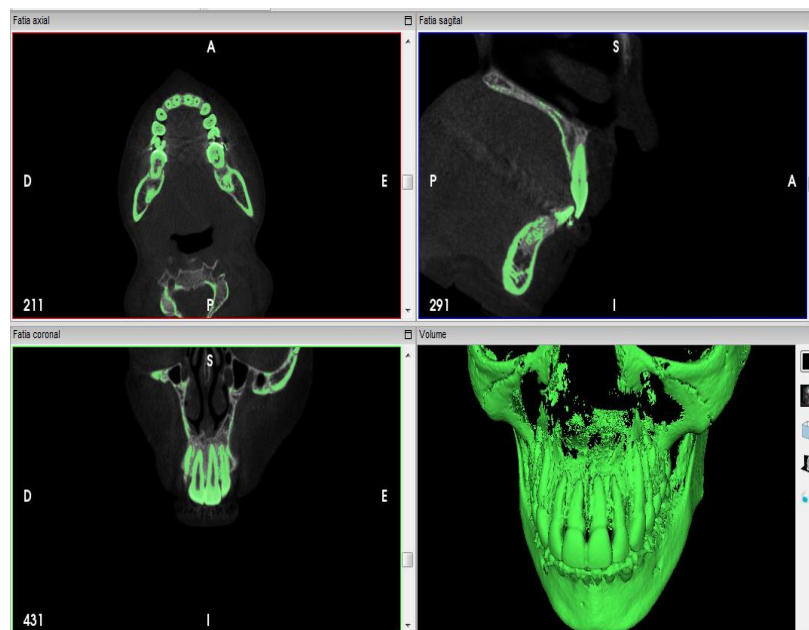


Figure 3 - Selected areas after applying the mask.

In order to select only the root of the tooth of interest, it was necessary to re-adjust and adjust manually using the tool "manual editing - delete". The root portion was retouched in all sections with the help of the "manual editing - erase and draw" tools. It was also necessary to fill the root canal manually (Figure 4).

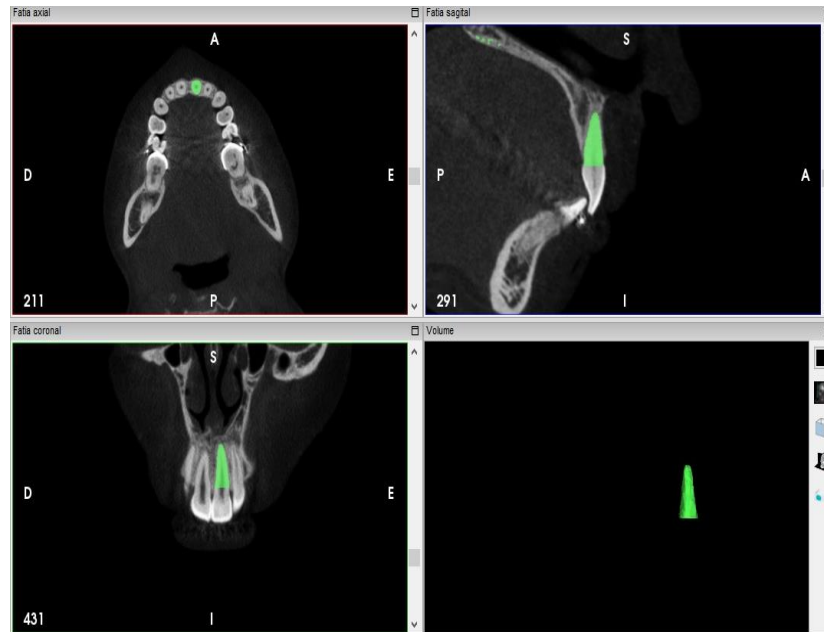


Figure 4 - Region of interest selected after manual editing in all cuts and the three-dimensional representation of the same.

Thus, the three-dimensional representation of the root (tool "create surface") (Figure 4), with its respective measurements in mm^2 (surface area) and mm^3 (volume), generated automatically by the software was obtained.

The mean error of the variables measurement was calculated by the intraclass correlation coefficient, as measured with a 30 day interval of 5 patients. The distribution pattern of the variables was determined by the Shapiro-Wilk test. Root surface areas and volumes were compared using Student's t-test for paired samples. Statistical analysis was performed with significance level of 0.05% and processed with SPSS Statistics 17.0.0 software (SPSS Inc., Chicago, USA).

RESULTS

The intraclass correlation coefficient for root area measurements was 0.964, indicating excellent agreement (Conover, 1999).

Table 1 shows the values of the normality test of the root superficial areas and volumes for each group of incisors, where all variables exhibited a normal distribution.

Table 1: Normality test of the variables under study.

| | Irregular resorption | | Regular resorption | |
|--------------|----------------------|-------|--------------------|-------|
| | Test* | P | Test* | P |
| Volume | 0,958 | 0,555 | 0,975 | 0,878 |
| Surface area | 0,964 | 0,671 | 0,967 | 0,738 |

* Shapiro-Wilk test

The mean and standard deviations of root superficial areas and volumes of incisors with irregular and regular simulated resorption are described in table 2. The surface area and volume of teeth with regular resorption was significantly greater than teeth with irregular resorption.

Table 2: Mean values of the surface areas and volume of the incisors with simulated regular and irregular apical root resorption and the comparison between them.

| | Irregular resorption | | Regular resorption | | Paired t test |
|---------------------------------|----------------------|----------|--------------------|----------|---------------|
| | Mean | SD | Mean | SD | |
| Volume (mm ³) | 193576,33 | 54105,86 | 213993,55 | 53194,77 | 0,000 |
| Surface area (mm ²) | 208817,77 | 43116,85 | 232313,11 | 49902,70 | 0,000 |

In this sample, there was a mean difference of 20932 mm³ and 23495 mm² between roots with irregular and regular simulated reabsorption, corresponding to an underestimation of 9.97% of the root volume and 9.81% of the surface area.

DISCUSSION

Apical root resorption mainly affects the upper incisors^{7,11} which, because they have only a conical root, transmit the orthodontic force directly to the apex^{3,23}. After evaluating pre and post-treatment panoramic radiographs of 200 patients, Kaley and Phillips (1991)²⁶ observed that 90% of the upper central incisors presented root resorption and stressed the major involvement of the upper teeth, being therefore the upper central and lateral incisors chosen to compose the sample of this study.

Because radicular resorption occurs in a variety of ways in a three-dimensional structure, two-dimensional tests are not able to accurately demonstrate the injured area²⁴, justifying the use of CT scans in this study, which allowed the adequate visualization of the extension of the tail lesion by apical root resorption.

Routinely, panoramic radiography is used as a tool for orthodontic treatment planning, but in this examination radicular resorption may be overestimated by up to 20% when compared to periapical radiographs¹² and these have underestimated reabsorption when compared to concomitant computed tomography^{10, 21}. In this study, there was an underestimation of 9.97% of the root volume and 9.81% of the superficial area, when we compared the irregular reabsorption (type of resorption present in 92.7% of the incisors²¹) with simulated regular resorption (simulation of the one shown by the periapical where it is possible to visualize only the greater root length due to the overlap of structures). These differences were significant ($p = 0.00$), suggesting that the underestimation of the extent of apical resorption lesions associated with radiographic overlapping methods exerts an important influence on the surface area and volume of the root structure.

The results of this study were in agreement with Campos et al. (2013)²¹, who found a significant difference between the largest root length and the length of the intact root structure, assessed in the sagittal section of incisors with apical root resorption, and concluded that there is evidence that vestibular-lingual radiographic overlap underestimates the extent of root resorption lesion and overestimates the length of the entire root structure.

The quantification of root length reduction has limited clinical significance and it is more important to determine the remaining periodontal support of the evaluated tooth. Root shortening results in a reduction of root surface area and a consequent decrease in periodontal support³. The relationship between root shortening and loss of periodontal support is little discussed in the literature, and only the work of Kalkwarf, Krejci and Pao (1986)²⁵ is described, where it was reported that the 8 mm root shortening corresponds to a reduction of 50 % of periodontal support. In this sample, there was a reduction of approximately 10% of the root surface area, where the fibers of the periodontal ligament are inserted, responsible for the periodontal support of the dental element.

CONCLUSION

There was a significant difference in root surface area and volume between incisors with simulated regular resorption - estimated by transverse cutting of the root - and irregular, which corresponded to an underestimate of 9.97% of the root volume and 9.81% of the surface area. This suggests that the image seen in periapical radiographs underestimates the extent of the resorption lesion by approximately 10%, justifying the use of this more accessible diagnostic method provided that this underestimation is taken into account.

REFERÊNCIAS

1. KUROL, J.; OWMAN-MOLL, P.; LUNDGREN, D. Time-related root resorption after application of a controlled continuous orthodontic force. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 110, n. 3, p. 303-10, Sep 1996.
2. TAITHONGCHAI, R.; SOOKKORN, K.; KILLIANY, D. M. Facial and dentoalveolar structure and the prediction of apical root shortening. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 110, n. 3, p. 296-302, Sep 1996.
3. CONSOLARO, A. **Reabsorções dentárias nas especialidades clínicas**. 2. ed. Maringá, PR: Dental Press, 2005. 616p
4. BREZNIAK, N.; WASSERSTEIN, A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 1. Literature review. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 103, n. 1, p. 62-6, Jan 1993a.
5. BREZNIAK, N.; WASSERSTEIN, A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 2. Literature review. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 103, n. 2, p. 138-46, Feb 1993b.
6. MCNAB, S.; BATTISTUTTA, D.; TAVERNE, A.; SYMONS, A. L. External apical root resorption following orthodontic treatment. **Angle Orthod**, Appleton, v. 70, n. 3, p. 227-32, Jun 2000.
7. PHILLIPS, J. R. Apical root resorption under orthodontic therapy. **Angle Orthod**, Appleton, v. 25, n. 1, p. 1-22, Jan 1955.
8. NEWMAN, W. G. Possible etiologic factors in external root resorption. **Am J Orthod**, St. Louis, v. 67, n. 5, p. 522-39, May 1975.
9. WESTPHALEN, V. P.; MORAES, I. G.; WESTPHALEN, F. H. Efficacy of conventional and digital radiographic imaging methods for diagnosis of simulated external root resorption. **J Appl Oral Sci**, Bauru, v. 12, n. 2, p. 108-12, Jun 2004.
10. 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, n. 4, p. 434-7, Apr 2009.
11. BREZNIAK, N.; WASSERSTEIN, A. Orthodontically induced inflammatory root resorption. Part I: The basic science aspects. **Angle Orthod**, Appleton, v. 72, n. 2, p. 175-9, Apr 2002.
12. SAMESHIMA, G. T.; ASGARIFAR, K. O. Assessment of root resorption and root shape: periapical vs panoramic films. **Angle Orthod**, Appleton, v. 71, n. 3, p. 185-9, Jun 2001.

13. LERMEN, C. A.; LIEDKE, G. S.; DA SILVEIRA, H. E.; DA SILVEIRA, H. L.; MAZZOLA, A. A.; DE FIGUEIREDO, J. A. Comparison between two tomographic sections in the diagnosis of external root resorption. **J Appl Oral Sci**, Bauru, v. 18, n. 3, p. 303-7, May-Jun 2010.
14. 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 Invest**, v. 15, p. 511-9 2010.
15. 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, n. 9, p. 1558-64, 1998.
16. LUND, H.; GRONDAHL, K.; GRONDAHL, H. G. Cone beam computed tomography for assessment of root length and marginal bone level during orthodontic treatment. **Angle Orthod**, Appleton, v. 80, n. 3, p. 466-73, May 2010.
17. 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.
18. HOLBERG, C.; STEINHAUSER, S.; GEIS, P.; RUDZKI-JANSON, I. Cone-beam computed tomography in orthodontics: benefits and limitations. **J Orofac Orthop**, München, v. 66, n. 6, p. 434-44, Nov 2005.
19. 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, n. 1, p. 75-80, Feb 2006.
20. 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.
21. CAMPOS, M. J.; SILVA, K. S.; GRAVINA, M. A.; FRAGA, M. R.; VITRAL, R. W. Apical root resorption: the dark side of the root. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 143, n. 4, p. 492-8, Apr 2013.
22. CONOVER WJ. Practice nonparametric statistics. New York: Wiley, 1999.
23. OPPENHEIM, A. Biologic orthodontic therapy and reality. **Angle Orthod**, Appleton, v. 6, n. 3, p. 153-183, July 1936.
24. SAMESHIMA, G. T.; SINCLAIR, P. M. Predicting and preventing root resorption: Part I. Diagnostic factors. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 119, n. 5, p. 505-10, May 2001.
25. KALKWARF, K. L.; KREJCI, R. F.; PAO, Y. C. Effect of apical root resorption on periodontal support. **J Prosthet Dent**, v. 56, n. 3, p. 317-9, Sep 1986.
26. KALEY, J.; PHILLIPS, C. Factors related to root resorption in edgewise practice. **Angle Orthod**, Appleton, v. 61, n. 2, p. 125-32, Summer 1991.