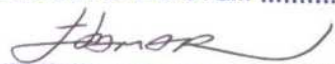


ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR ... FABIANO COSTA AL-
MEIDA E APROVADA
PELA COMISSÃO JULGADORA EM ... 10 / 12 / 2008

.....
ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

Análise de Falhas de Instrumentos Endodônticos Rotatórios de Ni -Ti em Odontologia

Autor: Fabiano Costa Almeida
Orientador: Prof. Dr. Itamar Ferreira

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

Análise de Falhas de Instrumentos Endodônticos Rotatórios de Ni -Ti em Odontologia

Autor: Fabiano Costa Almeida

Orientador: Prof. Dr. Itamar Ferreira

Curso: Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Materiais e Processos de Fabricação

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Campinas, 2008
S.P.- Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

AL64a Almeida, Fabiano Costa
Análise de falhas de instrumentos endodônticos
rotatórios de Ni-Ti em odontologia / Fabiano Costa
Almeida. --Campinas, SP: [s.n.], 2008.

Orientador: Itamar Ferreira.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Ligas Niquel-Titânio. 2. Endodontia. 3. Canal
radicular - Tratamento. 4. Metalurgia odontologica. I.
Ferreira, Itamar. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: Failure analysis of rotary endodontic instruments of Ni-Ti in
dentistry

Palavras-chave em Inglês: Rotary endodontic Instruments, Memory shape alloys
, Nickel-titanium alloys, Endodontic files

Área de concentração: Materiais e Processos de Fabricação

Titulação: Mestre em Engenharia Mecânica

Banca examinadora: Cecília Amélia de Carvalho Zaváglia, Carlos Eduardo da
Silveira Bueno

Data da defesa: 10/12/2008

Programa de Pós Graduação: Engenharia Mecânica

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

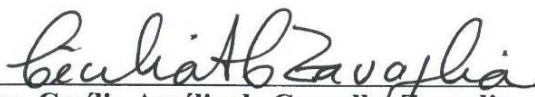
**Análise de Falhas de Instrumentos
Endodônticos Rotatórios de Ni-Ti em
Odontologia**

Autor: Fabiano Costa Almeida
Orientador: Itamar Ferreira

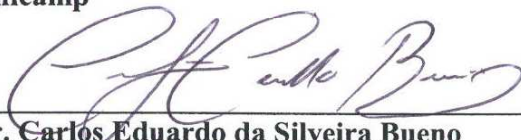
A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



**Prof. Dr. Itamar Ferreira, Presidente
FEM/Unicamp**



**Profa. Dra. Cecília Amélia de Carvalho Zavaglia
FEM/Unicamp**



**Prof. Dr. Carlos Eduardo da Silveira Bueno
Pontifícia Universidade Católica de Campinas/Endodontia
Faculdade de Odontologia São Leopoldo Mandic/Endodontia**

Campinas, 10 de dezembro de 2008

Resumo

Almeida, Fabiano Costa, *Análise de Falhas de Instrumentos Endodônticos Rotatórios de Ni-Ti em Odontologia*, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2008. 64 p Dissertação (Mestrado).

Os instrumentos endodônticos rotatórios de Ni-Ti (limas rotatórias) são utilizados para o preparo dos condutos radiculares e apresentam características de memória de forma, alta flexibilidade e geometria variável. Apesar dessas características, quando solicitados no uso clínico endodôntico, algumas vezes, apresentam fratura no interior dos condutos radiculares tendo como consequência uma diminuição no período de utilização, alto custo e a presença de iatrogenias. Este trabalho tem por objetivo realizar uma análise de falha de dois tipos de instrumentos endodônticos rotatórios de Ni-Ti, ProTaper® e ProFile® do mesmo fabricante (Dentsply-Tulsa Dental-Suíça), com geometrias diferentes, utilizando algumas limas com falha em serviço, e ensaios de fadiga de limas sem uso, por flexão rotativa, visando a obtenção de referenciais de micromecanismos de fratura. Foram realizadas análises químicas, por Espectrometria de Fluorescência de raios X e por Difração de raios X, metalográfica, por microscopia óptica, e fractográfica, por microscopia eletrônica de varredura, e ensaios de microdureza e de fadiga, por flexão rotativa, nos dois tipos de limas. Os resultados mostraram que as composições químicas dos dois tipos de limas são iguais, contendo, em peso, 58% de níquel e 42% de titânio, sendo possível identificar, por metalografia, duas fases, Ti_2Ni (fase secundária) e $TiNi$ (matriz). Os níveis médios de microdureza encontrados foram de 344HV1, para a lima ProTaper, e de 330HV1, para a lima ProFile. A fractografia possibilitou a identificação de duas regiões na superfície de fratura das limas, com fratura em serviço e submetidas aos ensaios de flexão rotativa, uma correspondente à zona de fadiga, e outra, a zona de fratura final, com avéolos ou “dimples”. Foi possível concluir que a falha das limas analisadas foi por fadiga.

Palavras Chave: Limas Endodônticas; Ligas com Memória de Forma; Ligas Níquel – Titânio; Instrumentos Endodônticos Rotatórios .

Abstract

Almeida, Fabiano Costa, *Failure Analysis of Rotary Endodontic Instruments of Ni-Ti in Dentistry*, Campinas: Faculty of Mechanical Engineering, University of Campinas, 2008. 64 p. Dissertation (Master of Science).

Rotary endodontic instruments of Ni-Ti (rotary files) are used in order to prepare endodontic dental conducts and show memory shape, high flexibility, and different designs. Although these characteristics, when used in endodontics clinic, sometimes occur fracture inside the conduct of the tooth and, as a result of that, low life, high cost, and iatrogen. The propose of this study is to realize a failure analysis of two different endodontic files, ProTaper® and ProFile®, of Ni-Ti, from the same maker and different shapes, by using some files with failure in service, and fatigue test in files, without use, in rotating bend, to obtain references in terms of micromechanisms of fracture. Were realized chemical analysis, by spectrometry of X-Ray fluorescence and X-Ray diffraction, metallograthy, by optical microscopy, and fratographic, by scanning electron microscopy, and microhardness and fatigue tests, in the two types of files, ProTaper and ProFile. The results show the chemical composition of the two files are the same, with 58% of nickel and 42% of titanium, in weight, and was possible to identify, by metallography, two phases, Ti_2Ni (secondary phase) and $TiNi$ (matrix). The median levels of microhardness were 344HV1, for the ProTaper® file, and 330HV1, for the ProFile® file. It was possible to identify, by scanning electron microscopy, two different regions on the fracture surface of the files, for fracture from service and from the fatigue tests, one correspondent to the fatigue zone, and another, the final fracture, show dimples. It was possible to conclude that the failure of the analyzed files was by fatigue.

Key words:

Endodontics Files; Memory Shape Alloys; Nickel - Titanium Alloys; Rotary Endodontic Instruments.

Dedicatória:

Ao meu amigo e orientador, Professor Doutor Itamar Ferreira, pela capacidade de transmitir seus conhecimentos, sólidos valores morais e éticos característicos de sua personalidade, até o presente momento. Agradeço a oportunidade que me proporcionou de ser seu orientado e tê-lo como amigo. Externo minha eterna admiração como aluno, profissional e pessoa.

A minha namorada Elen e filhas Bruna, Beatriz e Bárbara pelo apoio, paciência e compreensão neste momento importante em minha vida.

A minha Família, e especialmente aos que, nos momentos mais importantes, estiveram ao meu lado demonstrando que a verdadeira Família, muitas vezes, transcende os laços sangüíneos. Dentre estes, o amigo Major Dentista Carlos Magno Caprânico Corrêa.

Ao Exército Brasileiro, externo o meu profundo respeito, admiração e o considero parte integrante da minha Família. Instituição séria, onde conquistei grandes amigos que tiveram forte influência na minha formação pessoal e profissional.

Agradecimentos:

Este trabalho não poderia ser terminado sem a ajuda de diversas pessoas às quais presto minha homenagem:

Ao amigo André Luiz Marcelo que, nos momentos de dificuldades, sempre esteve à disposição para ajudar e que tem grande mérito na confecção deste trabalho.

As alunas de Doutorado Sandra, Flávia, Geórgia e Alessandra pelo apoio prestado no decorrer deste trabalho.

Aos amigos José Lisboa, Rita e Claudinete pelo apoio durante a utilização dos laboratórios da FEM.

Ao amigo, 1º Tenente Dentista Endodontista Cristiano Castilho, oficial da Escola Preparatória de Cadetes do Exército, pelo apoio logístico (doação das limas de Ni-Ti) neste trabalho.

A todos os professores, funcionários e colegas do Departamento, que ajudaram de forma direta e indireta na conclusão deste trabalho.

“O verdadeiro guerreiro está sempre armado com três coisas:
A radiante espada da pacificação, sabedoria e amizade,
e a preciosa jóia da iluminação.”

Morihei Ueshiba.

Índice

Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas.....	xiii
1. Introdução.....	01
1.1 Objetivos.....	03
2. Revisão da Literatura.....	04
2.1. Anatomia Dental.....	04
2.2. Limas Manuais.....	10
2.3. Limas Rotatórias de Ni-Ti.....	19
3. Materiais e Métodos.....	30
3.1. Materiais.....	31
3.2. Análise química.....	32
3.3. Difração de raios X.....	33
3.4. Análise Metalográfica.....	35
3.4.1. Preparação das amostras para análise metalográfica.....	35
3.4.2. Microscopia Óptica.....	36
3.5. Espectrometria por Energia Dispersiva de raios X-EDS.....	38
3.6. Microdureza.....	41
3.7. Ensaios de Fadiga.....	42
4. Resultados e Discussão.....	45
4.1. Análise química (Espectrometria por Fluorescência de raios X).....	45
4.2. Difração de raios X.....	46
4.3. Análise Metalográfica.....	47
4.4. Espectrometria por Energia Dispersiva de raios X-EDS.....	48
4.5. Microdureza Vickers.....	51

4.6. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)- Análise das superfícies de fratura.....	52
5. Conclusões e Sugestões para próximos trabalhos.....	57
5.1. Conclusões.....	57
5.2. Sugestões para Próximos Trabalhos.....	58
Referências Bibliográficas.....	59

Lista de Figuras

Capítulo 1- Introdução

1. Limas endodônticas no interior dos condutos radiculares.....	01
2. Instrumentos rotatórios de Ni-Ti (limas rotatórias).....	02
3. Dentes Molares (dentes posteriores).....	05
4. Possíveis ramificações dos condutos radiculares.....	06
5. Área interna dos condutos radiculares.....	07
6. Câmara pulpar, condutos radiculares principais e acessórios.....	08
7. Alterações no volume da cavidade pulpar.....	08
8. Tipos de alterações na cavidade pulpar.....	09
9. Conduto radicular com forma de dois cones truncados.....	10

Capítulo 2- Revisão da Literatura

2.1. Distribuição de tensões de Von Mises (ProTaper® e ProFile®).....	23
2.2. Fratura do instrumento rotatório (lima rotatória) ProTaper®.....	27
2.3. Área de fadiga e área de fratura alveolar (“dimples”).....	28

Capítulo 3- Materiais e Métodos

3.1. Instrumentos rotatórios de Ni-Ti (ProTaper® e ProFile®).....	30
3.2. Região segmentada dos instrumentos rotatórios para análises.....	31

3.3. Equipamento Rigaku RIX 3100.....	32
3.4. Difratorômetro da marca Rigaku.....	34
3.5. Diagrama de fases.....	34
3.6. Amostras embutidas para metalografia.....	35
3.7. Diagrama esquemático do microscópio metalúrgico.....	37
3.8. Microscópio Óptico Olympus BX 60M.....	37
3.9. Esquema de funcionamento do MEV.....	40
3.10. Microscópio JEOL, modelo JXA 840-A.....	40
3.11. Amostras utilizadas para análise de microdureza Vickers.....	41
3.12. Dispositivo adaptado para ensaios na MTS.....	42

Capítulo 4- Resultados e Discussão

4.1. Difração de raios X das limas ProTaper® e ProFile®.....	46
4.2. Micrografias das limas ProTaper® e ProFile®.....	48
4.3. Pontos selecionados para a análise de EDS.....	49
4.4. Fratografia da superfície de fratura de uma lima ProTaper®.....	53
4.5. Fratografia da superfície de fratura de uma lima ProFile®.....	54
4.6. Fratografia da superfície de fratura (ProTaper®) por sobrecarga.....	55
4.7. Fractografia da superfície de fratura de uma lima ProTaper® fraturada no interior do conduto radicular.....	56

Lista de Tabelas

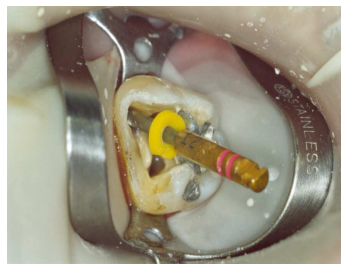
4.1 Composição química das limas ProTaper® e ProFile®.....	45
4.2 Resultados das análises de EDS das limas ProTaper® e ProFile®.....	50
4.3 Resultados dos ensaios de microdureza das limas ProTaper® e ProFile®.....	51

Capítulo 1

Introdução

Os instrumentos endodônticos, coadjuvados pelas substâncias químicas auxiliares e independentemente da técnica de instrumentação atuam no interior dos condutos radiculares. No interior desses condutos, encontramos a polpa dental composta por uma região vasculo-pulpar e que, algumas vezes, sofrem algum tipo de lesão e faz-se necessário o seu tratamento através de instrumentação endodôntica (radicular).

A instrumentação endodôntica consiste na utilização de limas que são introduzidas no interior dos condutos radiculares (figura 1) para a remoção do tecido infectado (Govoni, 2003). O objetivo da instrumentação é limpar e modelar o conduto radicular, removendo a menor quantidade possível de dentina, sem modificar a trajetória do canal para a conseqüente obturação. Para isso existem diferentes tipos de instrumentos, desde os de aço inoxidável até os manufaturados com ligas Ni-Ti, com secção transversal diferente e ponta ativa modificada. Atualmente, existem também as limas rotatórias com características diferentes das manuais.



(a)



(b)

Figura 1- Mostra as limas que são introduzidas no interior dos condutos radiculares para a remoção do tecido infectado.

Os instrumentos rotatórios endodônticos de Ni-Ti (figura 2), por apresentarem pequenas dimensões, forma complicada e geometria com bruscas variações de dimensões, são difíceis de serem produzidos. Apresentam um grande número de pontos considerados concentradores de tensão. Eles apresentam maior número de falhas em relação aos instrumentos manuais, portanto, esses instrumentos são utilizados por um menor período de tempo de instrumentação. Dessa forma há um aumento no custo do tratamento endodôntico e nos riscos de acidentes (fratura das limas) no interior dos condutos radiculares. Os estudos de análise de falha de limas de Ni-Ti de instrumentos rotatórios em Odontologia são essenciais no entendimento do comportamento mecânico desses materiais e origem da fratura em serviço, para que, posteriormente indiquem soluções para esses problemas. Observa-se, por Microscopia Eletrônica de Varredura, que, nas superfícies de limas endodônticas novas, há a presença de marcas de usinagem, regiões com redução abrupta de diâmetro e outros defeitos que induzem a concentração de tensão. Essas limas de Ni-Ti de instrumentos rotatórios apresentam seu uso limitado por problemas de fraturas no interior dos condutos radiculares.

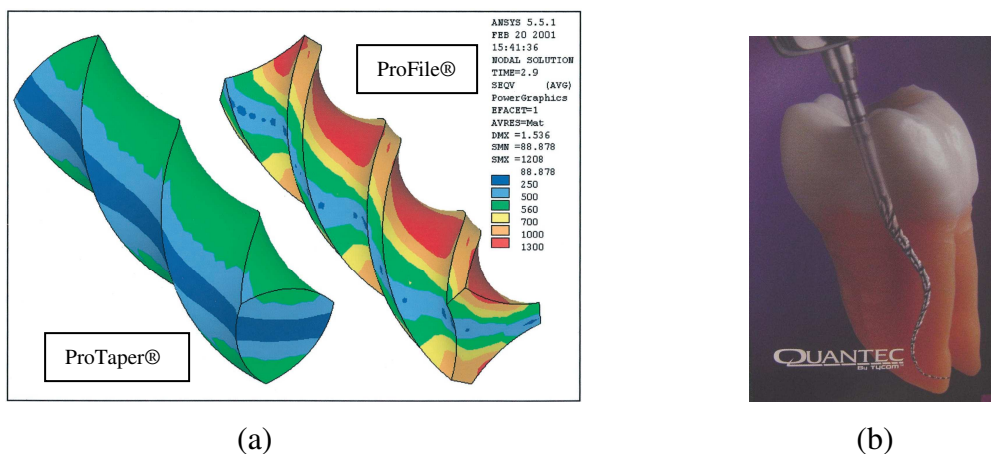
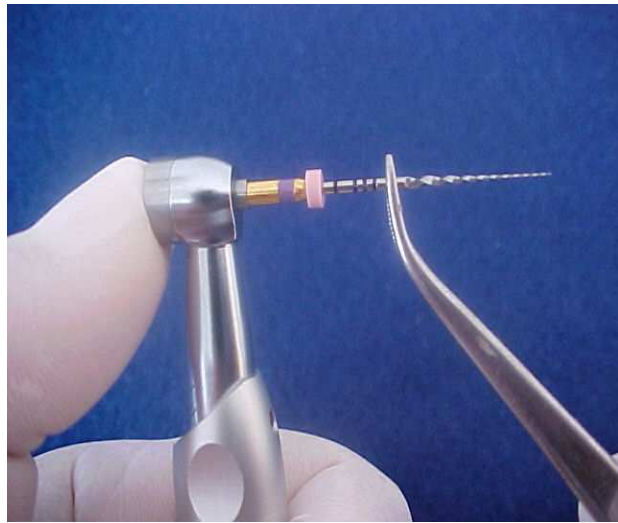


Figura 2- Instrumentos rotatórios de Ni-Ti; (a) apresentam pequenas dimensões, geometrias variáveis e um grande número de pontos considerados concentradores de tensão (Berutti, et al., 2003 distribuições de tensões de Von Mises); (b) mostra o trajeto percorrido pelo instrumento rotatório de Ni-Ti no interior do conduto radicular; (c) visão lateral dos instrumentos rotatórios de Ni-Ti;(d) instrumento rotatório sendo acoplado ao micromotor.(continua)

(continuação)



(c)



(d)

Apesar dos problemas relacionados à fratura, os instrumentos rotatórios de Ni-Ti apresentam várias vantagens como sua alta flexibilidade, maior conicidade, conicidade variada, movimento rotacional e diminuição no tempo de instrumentação dos condutos radiculares contribuindo de forma significativa para o trabalho do Endodontista.

1.1- Objetivos

Os instrumentos endodônticos são submetidos a severos esforços de solicitação mecânica que variam com a anatomia do conduto radicular e com a habilidade do endodontista, resultando de solicitação que, via de regra, levam ao fenômeno da fadiga. É muito importante conhecer e ter o domínio de todos os materiais e formas utilizados para esse fim. Dessa forma, podem-se obter melhores resultados e evitar que acidentes e iatrogenias aconteçam. Este trabalho teve como objetivo caracterizar e analisar a composição química, microestrutura e o micromecanismo de fratura em dois tipos de instrumentos endodônticos rotatórios de Ni-Ti do mesmo fabricante, ProTaper® e ProFile® (Dentsply Tulsa Dental- Suíça), por meio de análises química, fraturográfica e ensaios de microdureza. Assim, serão utilizadas as técnicas de Espectrometria de Fluorescência de raios X, análise por Difração de raios X, Microscopia Óptica, EDS, Microdurômetro e a Microscopia Eletrônica de Varredura.

Capítulo 2

Revisão da literatura

2.1 Anatomia Dental

Lauretti, et. al., 2005 observaram que a anatomia dental interna tem implicações diretas com as diversas fases do tratamento endodôntico. O dente possui no seu interior, uma cavidade denominada cavidade pulpar, ocupada em todo o seu volume pela polpa dental. Essa cavidade é totalmente circundada por dentina, com exceção da área do forame apical, na extremidade radicular. A cavidade pulpar divide-se em: câmara pulpar e canal radicular. A câmara pulpar é limitada por paredes que recebem nomes iguais àqueles da coroa dental para a qual estão voltadas (fig.3), ou seja: parede distal (1); parede mesial (2); parede lingual ou palatina (3); parede vestibular (4). A parede voltada para a superfície oclusal ou incisiva da coroa recebe o nome de teto da câmara pulpar (5).

A divisão entre câmara pulpar e canal radicular nos dentes unirradiculares é virtual e se faz no colo anatômico do dente. Nos dentes multirradiculares, essa divisão é marcada pela superfície convexa cervical das bifurcações ou trifurcações. Essa superfície recebe o nome assoalho da câmara pulpar.

O canal radicular nem sempre é único, podendo apresentar um conjunto de ramificações, dentro do qual o mais importante é o “canal principal”. As demais ramificações são consideravelmente diminutas em relação ao principal, tornando sua percepção visual difícil.

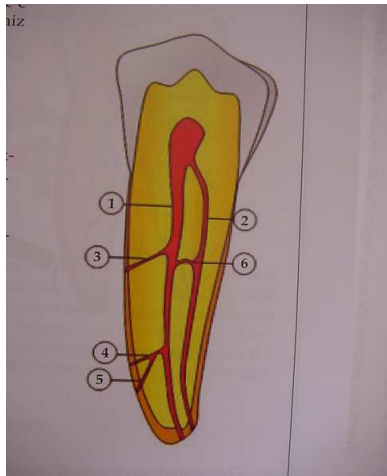


Figura 3- Mostra os dentes molares (dentes posteriores), classificando (através de números) as divisões das paredes da câmara pulpar. (Lauretti, et al., 2005)

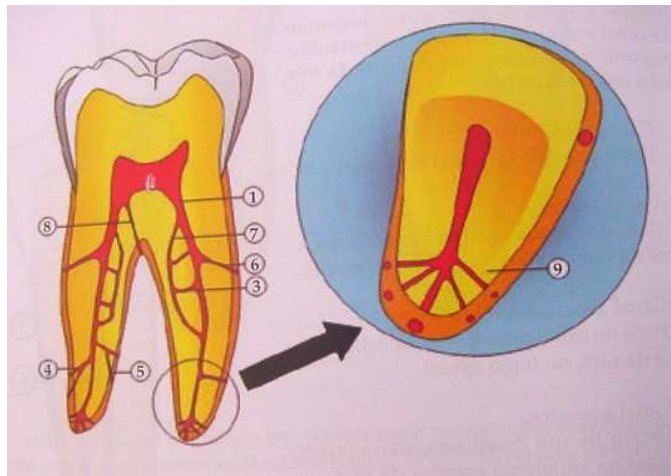
O conjunto formado pelo canal principal e possíveis ramificações são denominados sistemas de condutos radiculares. Na figura 4 (a, b) estão enumeradas as classificações desses condutos.

As ramificações dos condutos radiculares (figuras 4 a, b) são classificadas em: 1. Canal principal – esse canal é, muitas vezes, sinônimo de canal radicular. É o mais importante e percorre todo o eixo longitudinal da raiz até o ápice radicular; 2. Canal colateral - corre paralelo ao canal principal; 3. Canal lateral - parte do canal principal à superfície externa da raiz, no terço cervical ou médio; 4. Canal secundário - parte do canal principal à superfície externa da raiz, no terço apical; 5. Canal acessório – deriva de um canal secundário para terminar na superfície externa da raiz; 6. Intercanal – é um pequeno canal que liga entre si os demais canais; 7. Canal recorrente – é um canal que sai e retorna ao canal principal após percorrer um pequeno trajeto dentinário; 8. Canal cavointer-radicular – é um canal que deriva da câmara pulpar e atinge a superfície externa da raiz, na zona bi ou trifurcação. Observa-se com finalidade didática e para simplificação que denomina-se genericamente “canal acessório” todo aquele que possa estar

presente, exceto o canal principal. O canal Delta apical caracteriza-se por múltiplas ramificações do canal principal nos milímetros apicais.



(a) Pré-molar



(b) Molar (dente posterior)

Figura 4- Apresenta, respectivamente, as possíveis ramificações dos condutos radiculares dos dentes pré-molar (a) e do dente molar (b- dente posterior). (Lauretti, et al., 2005)

O estudo da anatomia humana sempre despertou nos cientistas e pesquisadores um interesse ímpar. Em anatomia dental, muitos pesquisadores, através de técnicas diversas, estabeleceram o conhecimento que permite os mais variados procedimentos clínicos em Odontologia. Dentre esses, podemos citar Carabelli, Fischer, Okumura; Pucci & Reig, Aprile; Erausquim; Marmasse e outros apud Lauretti, et al., 2005. Entretanto, em Endodontia, dois pesquisadores se destacam, e as conclusões de seus estudos contribuíram notavelmente para a evolução do tratamento endodôntico: Hess e Kutler.

Hess apud Lauretti, et al., 2005 concluiu que os condutos radiculares reproduzem a forma externa da raiz, podendo, entretanto, apresentar diferenciações, conforme demonstra a figura 5.

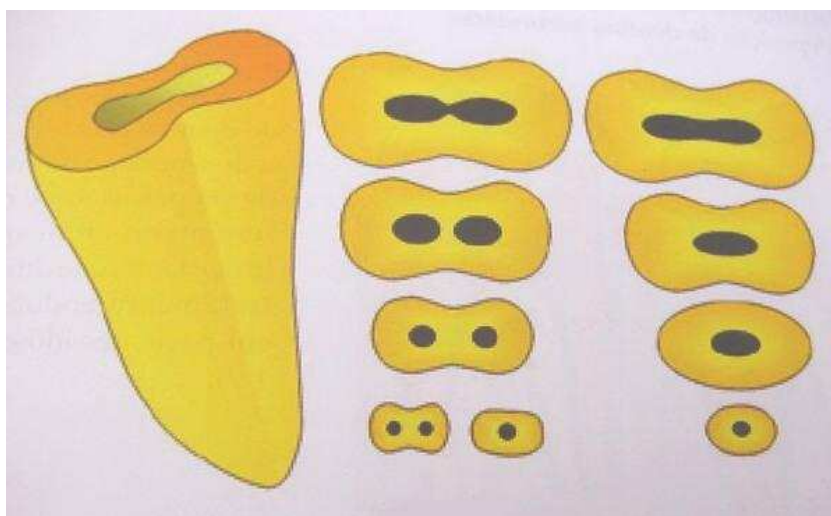


Figura 5- A figura indica que o interior do conduto acompanha o formato externo da raíz (conforme concluiu Hess apud Lauretti, et al., 2005), fato observado nesta raíz do dente pré-molar, podendo apresentar diferenciações. (Lauretti, et al.,2005).

A formação das paredes dentinárias são mais comuns em raízes achatadas no sentido mésio-distal. A presença destas, divide um canal originalmente único (fase de formação da raiz) em dois canais, que por sua vez podem terminar em dois forames apicais distintos ou se unir e terminar em forame único. É importante notar que a despeito da forma elíptica do canal nos terços cervical e médio, existe a tendência a uma forma circular nos milímetros apicais (Figura 3). Observa-se na figura 6, a presença da câmara pulpar com os condutos principais e as ramificações dos condutos principais nos dentes molares, que são classificados do mesmo modo que os dentes anteriormente citados nas figuras 3 e 4.

As alterações no volume da cavidade pulpar com o evoluir da idade, podem ocorrer pela deposição de dentina secundária. A deposição fisiológica de dentina, ocorre durante todo o período de vitalidade pulpar. Trata-se de um fenômeno clinicamente importante, que dificulta o tratamento endodôntico em pacientes idosos conforme podemos observar na figura 7.

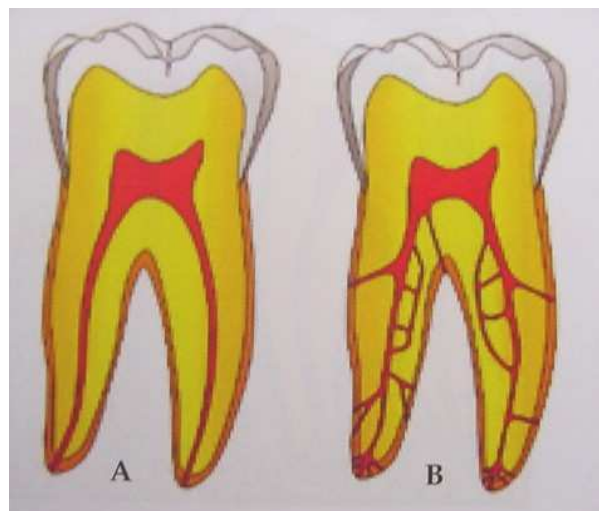


Figura 6- A presença da câmara pulpar (A), condutos radiculares principais e acessórios (B) nos dentes molares (dentes posteriores). (Lauretti, et al., 2005).

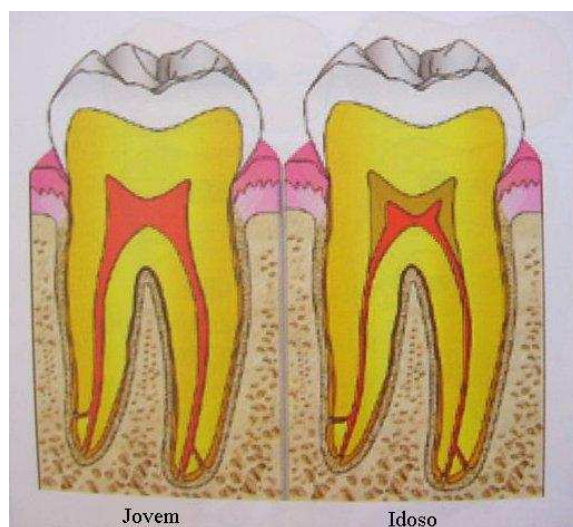


Figura 7- A figura indica as alterações no volume da cavidade pulpar pela deposição de dentina secundária, nos dentes molares de pacientes jovens (primeira figura) e idosos (segunda figura). (Lauretti, et. al., 2005).

Os tipos de alterações no volume da cavidade pulpar com o evoluir da idade, pela formação de dentina reparadora estão presentes na figura 8. Observa-se a presença de lesões de cáries,

abrasões (desgastes mecânicos nos ápices dentários) e problemas periodontais afetando o tamanho da câmara pulpar (diminuição de tamanho - “afastando-se da lesão”).

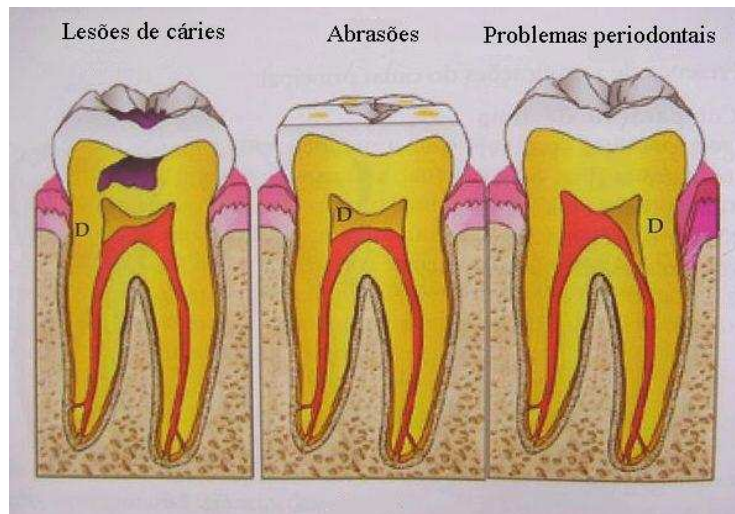


Figura 8- Tipos de alterações na cavidade pulpar pela formação de dentina secundária nos dentes molares (dentes posteriores). (Lauretti, et al., 2005).

Kutler apud Lauretti, et al., 2005 concluiu que o conduto radicular possui a forma de dois cones truncados, unidos por suas bases menores. Um dos canais é extenso, pouco cônico e revestido por dentina, denominado “canal dentinário”. O outro, curto, acentuadamente cônico e revestido por cimento, o “canal cementário” conforme apresenta a figura 9.

O conduto cementário não acompanha a mesma direção do canal dentinário, mas se desvia para a distal. Dentro desse contexto existem várias técnicas de instrumentação, com diferentes materiais, todas envolvendo o uso de limas endodônticas com o auxílio de irrigação. O processo de tratamento compõe-se de diagnóstico, acesso coronário, esvaziamento, odontometria, instrumentação, obturação e preservação. Todas essas fases são importantes, porém a fase de instrumentação é responsável de forma direta pelo processo de sanificação.

O objetivo da instrumentação é limpar e modelar o conduto radicular, removendo a menor quantidade possível de dentina, sem modificar a trajetória do canal para a conseqüente obturação. Para isso existem diferentes tipos de instrumentos, desde os de aço inoxidável até os

manufaturados com ligas Ni-Ti; com secção transversal diferente e ponta ativa modificada. Atualmente, existem também as limas rotatórias com características diferentes das manuais.

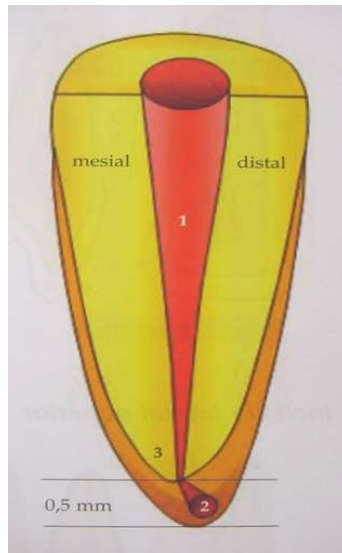


Figura 9- Apresenta o conduto radicular de um dente incisivo que possui a forma de dois cones truncados, unidos por suas bases menores. (Lauretti, et al., 2005).

2.2 Limas Manuais

Características

Govoni, 2003 observou que os instrumentos endodônticos são feitos a partir de um fio de aço inoxidável, desgastado de modo a obter, em alguns tipos, um formato piramidal de três ou quatro lados. Uma vez dado a forma piramidal, este fio é torcido ou modelado por usinagem, resultando em espiras, as quais serão responsáveis pela capacidade de corte do instrumento. Dependendo do número de voltas que se imprime ao fio e do formato de sua secção transversal, obtém-se instrumentos de características diferentes. As limas endodônticas são instrumentos fabricados com aço inoxidável austenítico ou com liga de Ni-Ti. As primeiras, por torção ou usinagem e, as últimas, apenas por usinagem. O sentido da hélice dos instrumentos é à esquerda, apresentando diferentes formas em relação à secção reta transversal.

Durante alguns anos, os instrumentos endodônticos não apresentavam uma padronização, o que dificultava muito o trabalho do profissional (Govoni, 2003). A ausência de uniformidade de calibre, de conicidade, com características e fabricantes diferentes constituíam os principais problemas. A partir dos trabalhos de Ingle, 1958 & Levine, 1961, apud Zuolo, 1998, aprovados pela Federação Dentária Internacional em colaboração com a Organização Mundial de Saúde, todos os instrumentos endodônticos manuais passaram a ser fabricados obedecendo especificações internacionais (ADA 1977). Assim sendo, seja qual for sua origem, serão sempre construídos dentro de medidas padronizadas. Entre as características adotadas observa-se: a) A coloração do cabo, que facilita a identificação; b) A parte ativa com o comprimento fixo (16mm); c) A haste metálica confeccionada em aço inoxidável austenítico ou Ni-Ti sendo o diâmetro da ponta ativa medido em centésimos de milímetros; d) A numeração correspondente ao D0 (diâmetro da base da ponta ativa da lima) está marcada no cabo. A numeração dos instrumentos varia entre de 0,06mm a 1,40mm e são medidos ao nível da base do guia de penetração, na extremidade ativa do instrumento. Assim sendo, o instrumento de número 15, por exemplo, deverá ter 15 centésimos de milímetro (0,15 mm) de diâmetro na base de seu guia de penetração; e) O diâmetro da ponta ativa (D0- diâmetro inicial) destes instrumentos endodônticos aumenta em 0,05 mm até o número 60 e, deste até 140, o acréscimo é de 0,1 mm. Exceção para os instrumentos 6,8 e 10 onde o aumento é de 0,02 mm, e para as limas golden médium de numeração: 12, 17, 22, 27, 32, 37 que são intermediárias das limas da 1ª série; f) A conicidade da parte ativa recebe o aumento de 0,02 mm em cada milímetro e, como a parte ativa tem 16mm, o aumento fica em torno de 0,32 mm. Esse aumento determina a conicidade ou o Taper do instrumento; g) Os comprimentos oferecidos são 21, 25 e 31 mm, definidos pelo comprimento do intermediário.

Os cabos plásticos coloridos, além de serem anatômicos, facilitam a identificação dos tipos de instrumentos e seus calibres. O princípio da aplicação da cor nos cabos foi baseado na escolha de cores mais claras para instrumentos menos calibrosos e escuras para instrumentos mais calibrosos. As limas são divididas em três séries e as cores se repetem a cada série. A primeira série é composta pelas limas 15, 20, 25, 30, 35, 40; já a 2ª série por: 45, 50, 55, 60, 70, 80 e as de 3ª série são as 90, 100, 110, 120, 130 e 140. (Ingle, 1958, & Levine, 1961, apud Zuolo, 1998)

As limas endodônticas são os instrumentos responsáveis pela regularização e planificação das paredes do conduto radicular, auxiliares do processo de sanificação, e edificadores do local para a inserção do material obturador. Entre as propriedades ideais que estes instrumentos endodônticos deveriam apresentar estão: capacidade de torção, flexibilidade, corte e dureza.

Propriedades mecânicas

Stenman & Spangberg, 1993 afirmaram que o fato das limas serem manufaturadas não garante que suas dimensões sejam fiéis às especificações da ADA. As novas limas foram avaliadas e suas dimensões averiguadas com o auxílio de microscópio ótico. Concluíram que esses instrumentos endodônticos são mal normatizados e não seguem as normas da ISO.

Em estudos realizados por Kazemi, et al., 1995 foi afirmado que as limas são instrumentos descartáveis. Após 300 ciclos de limagem em dentina, a maioria das limas perde sua efetividade de corte. Elas devem ser consideradas descartáveis após o uso, pois não há como avaliar clinicamente se ela ainda é eficiente para uma próxima instrumentação.

Segundo Schäfer & Tepel, 1995, citado novamente por Tepel, et al., 1997 os parâmetros mais importantes para se avaliar uma lima são: capacidade de dobramento, resistência à fratura, eficiência de corte e instrumentação de canais curvos.

D'Souza, et al., 1995 avaliaram o corte transversal do instrumento através de fotos ampliadas. Concluíram que o corte transversal e a presença de lâminas cortantes estavam de acordo com as especificações do fabricante. Porém, as lâminas com menores dimensões e as áreas apicais nem sempre atendiam às especificações, o que pode demonstrar que massa e/ou diâmetro são fatores que exigem mais durante a fabricação.

Tepel, et al., 1997 avaliaram a relação entre o desenho das limas e suas propriedades. Os estudos mostraram que as limas com secção transversal romba têm menor capacidade de dobramento, já as de secção quadrada são as melhores. Os instrumentos com secção em forma de

S (espiras) e os do tipo Hedstroem (formato triangular) apresentaram o menor número de rotação até a fratura (vida útil), os triangulares e de 32 hélices mostraram maior resistência à torção.

Tipos de limas manuais

As limas de aço inoxidável são limas tipo K (Kerr®) são feitas a partir de um fio de aço inoxidável de secção transversal quadrangular ou triangular, torcidas à esquerda em torno de seu eixo longitudinal, tal que produza em média 18 a 20 espiras de passo curto na lâmina do instrumento. O ângulo de corte formado entre as lâminas e o eixo longitudinal do instrumento é de 45°. A sua extremidade geralmente termina em ponta aguda e cortante. Essas limas apresentam razoável resistência e flexibilidade para o preparo de canais atresiadados e curvos. Apresentam-se comercialmente na numeração de 06, 08 e 10 (série especial); de 12 à 37 (série “golden mediun”); de 15 à 40 (1ª série); de 45 à 80 (2ª série) e de 90 à 140 (3ª série). Os comprimentos são de 21mm, 25mm e 31 mm.

As limas tipo Hedstrom (Maillefer®) também são de aço inoxidável e são feitas por usinagem a partir de uma haste de aço inoxidável de secção transversal em forma de vírgula, caracterizam-se por uma espiral de pequenos cones superpostos pela base e ligeiramente inclinados (75°), de maneira que a parte cortante fique na base dos cones voltada para o corpo do instrumento. Possuem uma excelente capacidade de corte e de remoção de resíduos. Devido à baixa flexibilidade, devem ser usadas com cautela em canais curvos e em movimento de rotação. Apresentam-se comercialmente na numeração 10 (série especial); de 15 à 40 (1ª série); de 45 à 80 (2ª série) e de 90 à 140 (3ª série). Os comprimentos são de 21 mm, 25 mm e 31 mm.

Os Alargadores (Maillefer®) são fabricados pela torção de lâminas triangulares, resultam um instrumento de espirais mais uniformes e menos compactas de que as limas tipo K. O ângulo formado pelas lâminas em relação ao eixo longitudinal do instrumento é de 90°.

Propriedades mecânicas das limas de aço inoxidável

Seto, et al., 1990 avaliaram as propriedades de torção, através da rotação dos instrumentos no sentido horário e anti-horário, das limas K feitas por torção e usinagem. Concluíram que as limas feitas por torção resistiram mais à torção nos dois sentidos em comparação com as usinadas; ambas apresentaram maior resistência à fratura no sentido horário; não houve diferença na força de torção até a fratura; ambas excederam as especificações da ANSI/ADA quanto à força e número de rotações necessárias para provocar fratura no sentido horário. As limas usinadas mostraram menos deformação plástica antes da fratura e o mecanismo de fratura é semelhante para ambas.

No trabalho de Lopes, et al., 2000 os autores afirmam que não existe material sem defeito. As limas de aço inoxidável suportam mais a rotação à direita. O método de fabricação do instrumento (torcido ou usinado) não interferiu nos resultados quando a rotação foi à esquerda. Todavia, os instrumentos torcidos, quando submetidos à rotação à direita, resistiram à maior ângulo. As limas de secção quadrangular são mais resistentes que as triangulares. A fratura foi do tipo dúctil independente do sentido de rotação. Porém, a deformação plástica da hélice variou com o sentido de rotação do instrumento.

Zinelis & Margelos, 2002 estudaram o mecanismo de deterioração das limas Hedstrom e demonstraram que as limas novas não apresentaram defeitos, já as fraturas mostram muitas “trincas” no sentido de seu eixo longitudinal. Em condições clínicas, a fadiga da lima está associada, normalmente, à sua fratura.

Limas de aço inoxidável flexíveis

Govoni, 2003 observou que as limas de aço inoxidável flexíveis são instrumentos com maior flexibilidade, com maior poder de corte e remoção de debris. Essas limas podem ser limas Flexofile (Maillefer®), nas quais sua parte ativa é semelhante a lima tipo K, de secção triangular, porém oferece maior número de espiras por unidade de comprimento, conferindo ao instrumento maior poder de corte, flexibilidade e menor resistência à torção; limas Flex-R (Moyco Union Broach®) que apresentam haste cônica metálica, de secção triangular. São mais flexíveis e tem ângulo agudo na secção transversal, resultando em um instrumento com maior poder de corte. Sua ponta é arredondada diminuindo a possibilidade de desvio do canal radicular, além disso, não há ângulo de transição entre a ponta do instrumento e seu primeiro passo cortante, a ponta da lima, portanto, acaba funcionando como guia no interior do canal; limas K-Flex (Kerr-Sybron®) que são instrumentos torcidos a partir de uma haste losangular, que resultam em passos de tamanhos diferentes entre si, com ângulos agudo e obtuso. Essa diferença nos passos do instrumento aumenta a capacidade de remoção da dentina contaminada durante a instrumentação. Além disso, essas limas apresentam 25% a mais de passos na parte ativa do instrumento do que a lima tipo K; Canal Máster U (Brasiler®) onde suas principais características são a ponta não cortante, parte ativa com 2mm em forma de chama; secção transversal em forma de U, haste flexível e lisa, sem conicidade e o diâmetro dos instrumentos aumentam de 0,025 mm entre os diferentes números sendo oferecido em aço inoxidável e Ni-Ti; limas Unifile (Caulk/Dentsply ®) que são instrumentos semelhantes à lima Hedstrom, apresentando, porém, duas bordas cortantes ao invés de uma. Os sulcos da parte ativa desse instrumento, mantém a mesma profundidade em toda a sua extensão. Esse detalhe de fabricação visa atribuir à lima maior resistência à fratura e maior flexibilidade na porção apical, porção que corresponde à posição curva de muitos canais radiculares; limas Helifile (Medidenta International Inc.®) construídas a partir de uma haste cilíndrica que, submetida à microusinagem, oferece três bordas cortantes. Essa característica visa permitir a centralização da lima no conduto radicular. São oferecidos nos comprimentos 21, 25 e 29 mm e nos números 15 a 60; limas S-File (U.S. Dental Manufacturing Inc.®) apresentam parte ativa com bordas extremamente cortantes, com maior ação de desgaste no terço médio e coronário. A porção final da lima apresenta bordas cortantes, com menor poder de desgaste, assegurando uma instrumentação segura na “moldagem” do terço apical do SCR. A secção

transversal é em forma de S (espiras) que combina bordas extremamente cortantes com flexibilidade e resistência à fratura.

Propriedades mecânicas das limas de aço inoxidável flexíveis

Segundo a ANSI / ADA (1988), citada por Camps & Pertot, 1994, a flexibilidade e resistência à fratura são requisitos importantes para os instrumentos endodônticos. Porém, não existe um instrumento que apresente essas características ideais.

Lautenschlager, et al., 1977 citado por Camps & Pertot, 1994, afirma que o corte transversal, o diâmetro, o tipo de metal e o processo de manufatura do instrumento é que determina a sua flexibilidade.

Camps & Pertot, 1994 avaliaram as propriedades de torção e flexibilidade das limas manuais de aço inoxidável (Canal Máster U) e Ni-Ti. Seus estudos demonstraram que o torque para a fratura foi bem menor para as limas de Ni-Ti, porém, o número de rotação até a fratura foi menor no caso das limas de aço inoxidável. Não houve diferença nas rotações no sentido horário e anti-horário. As limas Canal Máster U manuais de Ni-Ti são mais flexíveis e sofrem menos deformação plástica que as de aço inoxidável.

Dolan, 1982, Krup, et al., 1984, e Anderson, 1985, citados por D'Souza, et al., 1995, afirmam que modificando a secção transversal das limas tipo K de quadrada para romboidal ou triangular, resulta em maior flexibilidade principalmente em instrumentos de maior diâmetro.

Já Krup, et al., 1984 e Miserendino, L., et al., 1987 também citados por D'Souza, et al., 1995 disseram que alterar a profundidade dos lados da secção romboide contribui para a maior remoção de debris dentinários em canais atrésicos, esse fator é facilitado pela diminuição da carga no eixo longitudinal da lima.

Limas de Níquel – Titânio (Ni-Ti)

Com o objetivo de conseguir uma conicidade contínua que acompanhe a forma original do canal radicular e diminuir eventuais acidentes durante a instrumentação, muitos estudos tem sido realizados em torno da confecção de instrumentos endodônticos com mudanças significativas relacionadas, por exemplo, ao tipo de liga metálica utilizada na fabricação dos mesmos. Recentes avanços em tecnologia, apresentaram instrumentos endodônticos produzidos a partir de ligas de Ni-Ti.

As ligas de Ni-Ti foram introduzidas na Odontologia por Andreassen & Hilman, 1971 para confecção de fios ortodônticos, em função de sua excelente flexibilidade e resistência à fratura. Recentemente, várias limas foram lançadas no mercado utilizando essa liga que, segundo os fabricantes, apresentam as seguintes características: maior flexibilidade; excelente memória elástica; maior dureza; alta resistência ao stress;

As limas de Ni-Ti são instrumentos de desenho semelhantes às limas tipo K, diferenciando-se fundamentalmente na composição e comportamento mecânico do material de que são produzidas. Essas limas podem ser do tipo Ni-Ti (Maillefer ®) que são às limas tipo Kerr, porém, de secção transversal quadrada, tendo de 2 a 3 vezes mais flexibilidade que as limas de aço inoxidável, guia de penetração passivo e maior resistência à torção; canal Máster U (Brasiler ®) onde as principais características são a ponta não cortante, parte ativa com 2 mm em forma de chama, secção transversal em forma de U, haste flexível lisa, sem conicidade, o diâmetro dos instrumentos aumenta de 0,025 mm entre os diferentes números sendo oferecidas em aço inoxidável e Ni-Ti; e as limas SET (Société Endo – Technic ®) apresentando parte ativa semelhante à Hedstrom. O ângulo de corte e a profundidade das lâminas (bordas cortantes) aumentam da ponta para a base da parte ativa. Não há bordas em sua ponta (guia de penetração) o que evita a formação de “zip”. Apresenta grande flexibilidade podendo ser usada em canais curvos. Estão disponíveis nos comprimentos 21 e 25 mm, para os números 08 a 60 e de 31 mm, para os números de 15 a 60.

Propriedades mecânicas das limas de Ni-Ti

Canalda-Sahli, et al., 1996 compararam as propriedades de torção e flexão das limas tipo K feitas de diversos materiais. Concluíram que as limas do tipo Ni-Ti tem maior flexibilidade, enquanto as de aço inoxidável mostraram maior flexão.

Schäfer & Tepel, 1996 estudaram a eficiência de corte das limas Hedstrom, S e U de diferentes tipos de ligas. Os resultados mostraram que as Hedstrom têm melhor poder de corte que as demais. Isso pode ser explicado pelo fato dessas limas terem o ângulo de corte próximo à 90°. Demonstraram também que o aço inoxidável é mais eficiente no corte que a de Ni-Ti.

Wolcott & Himel, 1997 avaliaram as propriedades de torção das limas de Ni-Ti em comparação às de aço inoxidável. Ambas excederam as especificações da ANSI/ADA quanto às seguintes propriedades: diâmetro de lima, valores mínimos de torque antes da fratura e deflexão angular antes da fratura. A resistência à rotação até a fratura diminui conforme aumentou o diâmetro da lima de aço inoxidável. Já para as limas Ni-Ti .02, o resultado foi o oposto, a resistência à rotação até a fratura aumentou conforme aumentou seu diâmetro.

Haïkel, et al., 1998 avaliaram as propriedades mecânicas das limas de Ni-Ti e o efeito do hipoclorito sobre as mesmas. Concluíram que as limas de Ni-Ti da J. S. Dental e Mc. Spadden são mais resistentes à fratura que as demais limas. Porém, em termos de resistência à fratura por torção, os instrumentos de aço inoxidável são superiores. Já quanto à flexibilidade, as Ni-Ti são melhores, principalmente as da Maillefer e Basseler. O hipoclorito de sódio, a 2,5% agindo por 12 ou 48 horas, não teve ação sobre as propriedades mecânicas das limas Ni-Ti. Lopes, H. P., et. al., 2000 estudaram a fratura por torção das limas de aço inoxidável e Ni-Ti. Os resultados mostraram que o ângulo de torção máximo até a fratura foi maior na rotação à direita do que à esquerda. Na rotação à direita, estatisticamente, não houve diferença significativa, entretanto, à esquerda, os instrumentos de Ni-Ti tiveram melhor comportamento. Independentemente do sentido de torção, os instrumentos de aço inoxidável e Ni-Ti resistiram o mesmo torque até a fratura. A natureza da liga metálica não interferiu na superfície de fratura que foi dúctil.

2.3 Limas Rotatórias de Ni-Ti.

As limas manuais de Ni-Ti não possuem muita eficiência de corte, pois sua alta flexibilidade não permite que a lima se agarre às paredes do canal promovendo assim pouco desgaste, mas propriedades metalúrgicas de resistência e elasticidade das limas Ni-Ti usadas em condições apropriadas e com desenhos anatômicos convenientes, fez possível a confecção de instrumentos endodônticos rotatórios, tornando a limpeza e modelagem do sistema do canal radicular mais rápida e eficiente.

A resistência à torção dos vários instrumentos endodônticos está relacionada ao processo de fabricação e conformação dos mesmos. As limas e sistemas rotatórios de Ni-Ti são fabricados através de usinagem, uma vez que suas propriedades mecânicas não exigem a torção. Quanto à sua forma, as limas de Ni-Ti manuais exibem um desenho semelhante às convencionais, já os sistemas rotatórios se apresentam em diferentes conformações, podendo alterar a secção transversal, ponta ativa ou inativa, ângulo de ação mais agressivo, e taper (conicidade).

A variação no desenho dos instrumentos de Ni-Ti fabricados para uso em motores podem determinar comportamentos clínicos muito diferentes em função das propriedades mecânicas determinadas pelas diversas formas, o que torna importante o estudo destas diferenças e suas conseqüências. As limas de Ni-Ti podem ser encontradas nas seguintes disposições:

- Light – Speed (Lightspeed Technology Inc.®): consiste na versão automatizada das limas Canal Master U. São fornecidas somente em ligas de Ni-Ti, e indicadas para serem usadas no interior do canal com movimentos rotatórios contínuos na ordem de 200 r.p.m., produzido por micro motor elétrico ou mecânico.

- Profile (Tulsa®): são confeccionadas em Ni-Ti, ponta ativa não cortante e secção transversal em forma de U. Apresentam conicidade gradativa de 0,04 mm ou 0,06 mm em diâmetro a cada 1 mm (TAPER), resultando em instrumentos calibrosos. Outra peculiaridade desses instrumentos é o aumento constante de 29% no diâmetro da ponta dos instrumentos

idealizados para utilização com micro motor elétrico com alto torque, em velocidade constante de 350 r.p.m.

- Quantec Series 2000 (NT Company®): confeccionada em Ni-Ti, possui características diferenciadas:

- design com lâminas cortantes assimétricas, e ângulo de inclinação positivo;
- zona de escape larga;
- redução de superfície periférica do instrumento, diminuindo a resistência ao atrito.
- maior massa metálica suportando as limas cortantes;
- instrumentos com conicidade de 0,02 a 0,06 para trabalho nos diferentes terços do canal;
- ponta ativa com quatro faces cortantes

O sistema é idealizado para ser utilizado em micro motor elétrico em baixa velocidade (340 r.p.m.), em movimentos contínuos no sentido horário.

- N.T. Sensor File (NT Corp.®): tem as seguintes características: limas tipo Hedstrom modificadas, com ângulos helicoidais não similares; confeccionados em lima de Ni-Ti; ponta ativa não cortante. Foram planejadas para serem utilizadas em micro motor com baixa velocidade (250 / 350 r.p.m.) em movimento rotatório contínuo, com torque.

- Pow-R (Moyco-Union Broach®): apresenta área seccional triangular, que confere maior capacidade de corte ao instrumento, mas o risco de encrave na dentina o deixa mais suscetível à fratura.

- K3 (Kerr®): as principais características desta série são: ângulo de corte positivo, ângulo helicoidal variável, diferentes bandas radiais, diâmetro variável na zona de corte, cabo reduzido.

- Pro Taper (Dentsply - Maillefer®): apresentam secção transversal triangular convexa e uma conicidade progressiva.

- Great Taper - GT (Tulsa - Dentsply - Maillefer®): apresentam quatro diferentes conicidades: .06, .08, .10 e .12. O D0 correspondente ao instrumento # 20. Para manter o diâmetro fixo e conicidades diferentes, apresentam lâminas ativas de comprimentos variados. São fabricados por usinagem com o sentido das hélices à esquerda.

- Race & SMD (FKG Dentaire®): possui áreas de corte alteradas que previnem o efeito de rosca e o bloqueio oferecendo a vantagem de um torque extremamente baixo.

Apresenta corte afiado que resulta em melhor eficiência com a utilização de menos instrumentos. Acompanha o sistema SMD (Safety Memo Disc) que é um disco de memória que monitora a fadiga do instrumento. A cada uso remove-se uma “pétala” desse disco (conforme o caso, remove-se mais do que uma).

Propriedades mecânicas das limas rotatórias de Ni-Ti.

Pruet, et al., 1997 analisaram a fadiga dos instrumentos rotatórios de Ni-Ti tendo como amostra as limas Lightspeed. Chegaram a algumas conclusões: a rotação não interfere nos ciclos até a fratura; os instrumentos fraturaram na região de máxima flexão (meio da curvatura); instrumentos de maior diâmetro fraturaram antes (menos ciclos) que os de menor calibre; o raio de curvatura, seu ângulo e o calibre dos instrumentos são mais significantes para provocar fratura que a velocidade de rotação; a fratura pode ocorrer sem que haja qualquer deformação permanentemente no instrumento e quanto menor o raio de curvatura, maior a chance de fraturar a lima.

No estudo de Costa & Santos, 2000 sobre a resistência à torção dos instrumentos rotatórios Quantec Series 2000 e Pow R, os autores verificaram que os instrumentos Pow R mostraram maior resistência à torção que os Quantec de mesma numeração. Ambos excederam as especificações da ANSI/ADA nº 28 para resistência à torção.

Sattapan, et al., 2000 analisaram o torque durante a instrumentação rotatória. Notaram que a força aplicada apicalmente foi, geralmente, baixa. O torque aplicado depende do TIP e Taper da lima e diâmetro do canal. Na fratura o torque foi bem maior que durante a instrumentação. A força apical aumentou conforme se aproximava do comprimento real de trabalho.

Sydney, 2002 avaliando as características das limas K3, concluiu que essa série apresenta modificações importantes no seu fabrico, sugerindo o início da evolução dos sistemas rotatórios de rotação contínua. Os aspectos relacionados com a área seccional do instrumento parecem ser aqueles de maior significado clínico quanto à eficácia e segurança de seu uso. Os resultados clínicos têm se mostrado excelentes, sem riscos de acidentes, proporcionando um corte seguro e uma ampliação apical dentro dos limites desejados para a técnica preconizada.

No estudo de Li, et al., 2002 sobre a fadiga da lima rotatória de Ni-Ti, ficou provado que a fratura ocorre, quanto maior for o ângulo de curvatura e a velocidade de rotação. Além disso, quanto mais longo for o movimento de instrumentação, maior será o tempo para a ocorrência de falha da lima, pois essa não ficará com apenas um ponto ou região sob tensão.

Berutti, et al., 2003 observaram que o modelo Profile apesar de apresentar uma melhor elasticidade tem uma fase de transformação superelástica muito curta em relação ao modelo Protaper. Porém, no modelo Protaper, apesar de uma menor elasticidade, as distribuições das tensões foram mais regulares e uniformes. É importante observar a geometria na área de secção de corte das limas de cada fabricante. A variação dessa geometria ao longo dessa secção de corte, poderia ser uma das possíveis soluções para esse problema. (Figura 3)

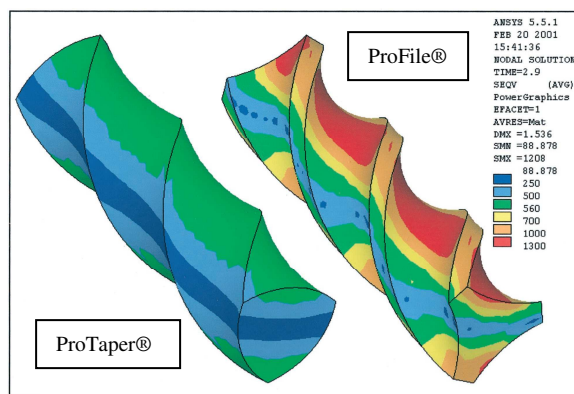


Figura 2.1- Distribuição de tensões de Von Mises nos instrumentos rotatórios de Ni-Ti, ProTaper® e ProFile®. (Berutti, et al., 2003)

Alapi, et al., 2003 observaram através do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) as secções transversais das extremidades dos instrumentos rotatórios de Ni-Ti, ProFile (0.04 taper) e Lightspeed (25mm), ISO Size 25, onde as deposições encontradas na superfície dos instrumentos foram atribuídas a defeitos no processo de fabricação.

Alapi, et al., 2005 avaliaram um grande número de instrumentos rotatórios de Ni-Ti (ProFile GT, ProFile e ProTaper) que, após terem sido descartados, foram adquiridos de duas clínicas endodônticas de graduação e analisados no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Estes instrumentos não apresentavam uso clínico anteriormente e após a sua utilização apresentaram fraturas ou foram descartados por deformação de torção sem fragmentação. O processo de falha macroscopicamente apresentou característica dúctil, evidenciada microscopicamente por uma superfície de fratura alveolar (“dimple”). Observaram a propagação da trinca nos contornos dos grãos, superfícies de clivagem (fratura transgranular) e partículas de óxidos provenientes do processo de fabricação ocasionando pontos de nucleações vazios (“microvoids”) relacionados com micromecanismos de fratura (“dimple”). Os autores sugerem os instrumentos (ProFile GT, ProFile e ProTaper) devam ser polidos eletroliticamente para minimizar os danos de superfície de usinagem, entretanto seriam necessários alguns cuidados para não danificar a capacidade de corte dos instrumentos. Além disso, sugerem a implantação de íons na superfície, tais como nitrogênio e boro que melhoram a resistência ao desgaste e a dureza superficial respectivamente.

Guelzow, et al., 2005 compararam ex vivo a preparação dos diâmetros de diferentes condutos radiculares utilizando a técnica manual e seis diferentes tipos de instrumentos rotatórios de Ni-Ti (Flexmaster, System GT, HERO 642, K3, ProTaper, and RaCe). Todos os sistemas rotatórios mantiveram a anatomia da curvatura original do conduto após o preparo endodôntico. O modelo ProTaper apresentou o menor número de irregularidades no diâmetro dos condutos radiculares tratados. As fraturas nos instrumentos ocorreram no modelo ProTaper em 03 condutos, enquanto na preparação com System GT, HERO 642, K3 e na técnica manual resultaram em uma fratura cada. A técnica com os instrumentos rotatórios de Ni-Ti foi mais rápida no preparo dos condutos radiculares que a técnica com os instrumentos manuais. O menor tempo de instrumentação ocorreu com a utilização dos instrumentos System GT (11.7 s).

Cheung, et al., 2005 investigaram o tipo de falha de um sistema rotatório de Ni-Ti que se rompeu durante uso clínico, através de exame detalhado de sua superfície de fratura. A análise da superfície de fratura por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) é essencial para revelar as características que podem indicar a possibilidade de origem de trincas (“cracks”) e o modo de falha do material. A fadiga tem sido um importante fator responsável pela fratura dos instrumentos rotatórios de Ni-Ti durante seu uso clínico. Concluíram que uma visão macroscópica ou visão lateral de um instrumento fraturado, pode indicar o modo de falha do material. O exame microscópico detalhado da superfície de fratura é essencial para revelar a topografia dessas falhas, sugerindo os mecanismos de fratura. A fadiga do material, aparece como um fator importante para a separação dos instrumentos rotatórios de Ni-Ti durante o seu uso na Clínica de Endodontia.

O estudo de Sheng, et al., 2006 comparou a incidência e o modo de ruptura dos instrumentos de dois sistemas rotatórios de Ni-Ti que foram utilizados de acordo com modelos pré-definidos de uso clínico pelo mesmo grupo de operadores. A incidência de fratura observada foi de 7% nos modelos ProFile e de 14% nos modelos ProTaper ($p < 0.05$). A proporção de defeitos observados foi de 5% na ProFile e 0,3% na ProTaper ($p < 0.01$). A maior parte das rupturas em ambas foi por fadiga à flexão. Os resultados indicaram que a lima ProTaper foi mais

susceptível à ruptura sem aviso prévio, e a ProFile tende a exibir defeitos de flutuação mais freqüentemente antes da ruptura.

Alexandrou, et al., 2006 avaliaram dois modelos de instrumentos rotatórios de Ni-Ti quanto a sua superfície e microestrutura no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e DSC (Differential Scanning Calorimetric), após serem submetidos a ciclos de esterilização (01, 06, 11 ciclos). As análises por MEV demonstraram a presença de imperfeições na superfície com fragmentos aderidos em todos os instrumentos novos e esterelizados e um aumento na rugosidade superficial nos instrumentos submetidos a múltiplas esterilizações. As medições no DSC demonstraram que os dois modelos, nas condições recebidas após 11 esterilizações, apresentaram-se completamente austeníticos na temperatura da cavidade bucal, sugerindo condições de capacitação de comportamento superelástico e condições clínicas apropriadas.

Di Fiore, et al., 2006 determinaram a incidência de fratura dos instrumentos rotatórios de Ni-Ti na prática da Clínica Endodôntica. A incidência de fratura para as limas ProFile, ProTaper, GTRotatory e K3 Endo foi 0,28%, 0,41%, 0,39% e 0,52%, respectivamente e não houve diferenças significativas entre os sistemas de instrumentos. A porcentagem de dentes onde os instrumentos fraturaram foi de 1,9% (0,28% p/ dentes anteriores, 1,56% p/ pré-molares e 2,74% p/ molares). A maioria dos fragmentos, foram encontrados no terço apical dos condutos radiculares. A utilização desses instrumentos para a prática endodôntica é indicada devido à baixa incidência de fratura desses instrumentos.

Tripi, et al., Sept-2006 analisaram a resistência à fadiga de instrumentos rotatórios de Ni-Ti quanto à influência de sua geometria e do tratamento de superfície, solicitados à flexão à fadiga. Os instrumentos ProFile apresentaram os melhores resultados para resistência à fadiga. Observou-se que nos instrumentos RaCe o tratamento de superfície reduziu a presença de microtrincas (“cracks”), erosões de superfície e danos de fabricação. A geometria dos instrumentos demonstrou ser um fator importante para a resistência à fadiga. O tratamento de superfície com polimento eletrolítico aumentou a relação entre fratura e resistência à fadiga nos instrumentos RaCe.

Alexandrou, et al., 2006 observaram o efeito de repetidos ciclos de esterilização em autoclaves sobre as características de superfície e microestruturas de instrumentos rotatórios de Ni-Ti (Mani Inc, Toshigi-Ken, Japan). As análises no MEV indicaram a presença de imperfeições, microfissuras e marcas profundas de fresagem (“deep milling marks”) em ambas as novas limas esterilizadas. Após 11 esterilizações, os remanescentes de imperfeições e a rugosidade superficial aumentaram significativamente ($p=0,05$). A análise de DSC das limas endodônticas nas condições iniciais recebidas e após o ciclo de 11 esterilizações encontravam-se na fase austenítica ou uma mistura de fase austenítica e R-fase a 37°C. Os defeitos de fabricação e imperfeições estruturais dos novos instrumentos Mani, são indicativos das dificuldades no processo de fabricação dos instrumentos rotatórios de Ni-Ti. As medições no DSC sugerem que os instrumentos Mani são capazes de apresentar comportamento superelástico sobre condições de uso clínico.

Wolcott, et al., 2006 verificaram se o número de utilizações tem relação com a incidência de fratura dos instrumentos rotatórios de Ni-Ti. Por um período de 17 meses 4652 condutos radiculares foram tratados e avaliados em um grupo endodôntico. A porcentagem de instrumentos fraturados foi de 2,4% sem apresentar diferenças significativas durante as primeiras quatro utilizações. O resultado indicou que a Lima ProTaper pode ser reutilizada com segurança por quatro vezes.

Lopes, et al., 2007 avaliaram a influência das curvaturas nos diferentes segmentos dos condutos radiculares (artificiais confeccionados em aço inoxidável) e o número de ciclos necessários para a fratura dos instrumentos rotatórios de Ni-Ti. A distância da superfície de fratura e o número de ciclos necessários para a fratura por fadiga foram determinados nos instrumentos rotatórios de Ni-Ti, ProTaper F-3. As superfícies de fratura e o design das limas foram analisadas no MEV. Os resultados indicaram que, o número de ciclos requeridos para a fratura, foram influenciados pela curvatura do conduto e a morfologia da superfície de fratura, em vista lateral, apresentou características dúcteis, não ocorrendo deformações plásticas na região helicoidal da lima.

Wei, et al., 2007 investigaram o tipo de fratura ocorrida nos instrumentos rotatórios de NiTi (ProTaper) após o uso clínico e posteriormente analisaram no MEV para determinar qual o melhor método para estabelecer o modelo da falha do material. A eletromicrografia revelou 88 casos de flexão e 12 de torção. As fractografias revelaram 91 casos de flexão com estrias de fadiga e 03 casos de torção com marcas de abrasão circular. Foram constatados 06 instrumentos com ambas características de falhas de flexão e torção. A presença de trincas (“cracks”), microtrincas e pittings foram encontrados nas micrografias longitudinais. (Figura 2.2)

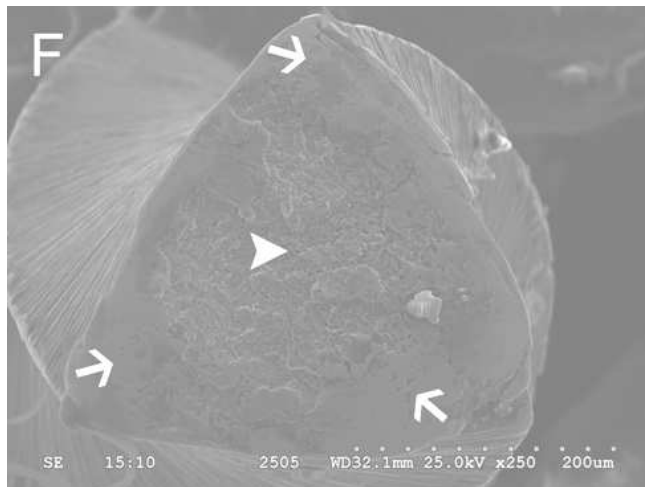


Figura 2.2- Wei, et al., 2007 observaram a presença de estrias de fadiga e marcas de abrasões circulares indicando um modo combinado de falha em limas ProTaper® S1.(F)

A resistência dos instrumentos rotatórios de Ni-Ti à fadiga foi analisada por Ounsi, et al., 2007 após a sua utilização inicial em condutos radiculares retos e curvos “in vivo”. Observou-se que os instrumentos previamente utilizados em canais curvos foram mais susceptíveis à fadiga em relação às previamente utilizadas em condutos radiculares retos. Os resultados demonstraram que os instrumentos ProTaper F-3 são mais susceptíveis as falhas de fadiga e devem ser reutilizados com precaução.(Figura 2.3)

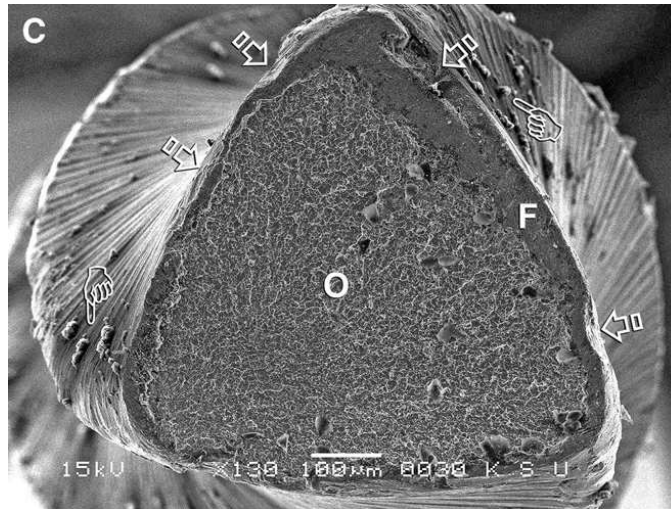


Figura 2.3- Ounsi, et al., 2007 observaram uma área relativamente pequena de fadiga (F) indicando que a falha teve origem nas áreas periféricas da lima, e uma área central evidenciando a fratura alveolar (O - “dimple”).

Sheng, et al. 2007 analisaram o tipo e a localização de defeitos observados nos instrumentos rotatórios de Ni-Ti ProTaper, após o uso clínico de rotina. Após o uso clínico ao longo de 17 meses, 401 limas descartadas, foram analisadas no MEV. As falhas encontradas foram analisadas em sua superfície lateral por fractografia. Aproximadamente 74% dos instrumentos com defeitos exibiram dano de cisalhamento, 3/4 das fraturas dos instrumentos ocorreram no terço apical dos condutos radiculares em sua maioria molares. Os resultados demonstraram que a maioria das falhas, ocorreram devido a cisalhamento ou fadiga.

Cheung, et al. 2007 compararam o comportamento da fadiga de baixo ciclo em instrumentos rotatórios de Ni-Ti, com polimento eletrolítico e sem polimento eletrolítico de mesma geometria em hipoclorito (1,2%). Os resultados demonstraram que os instrumentos submetidos ao polimento eletrolítico apresentaram menor número de falhas que os não submetidos ao polimento eletrolítico e a relação entre a extensão da trinca (“crack”) e a força de amplitude superficial, foram inversamente proporcionais em relação aos processos utilizados. Apesar de o polimento eletrolítico tornar a superfície mais polida, este processo não protege os instrumentos do efeito de fadiga de baixo ciclo.

Anderson, et al., 2007 investigaram os efeitos do polimento eletrolítico no ciclo de fadiga à flexão e forças de torção nos instrumentos rotatórios de Ni-Ti. Os instrumentos com o polimento eletrolítico foram analisados no MEV e apresentaram “milling grooves”, trincas (“cracks”), pites e áreas de “metal rollover”, sendo estes, observados também nos instrumentos sem o polimento eletrolítico de forma mais evidenciada. O polimento eletrolítico apresentou efeitos benéficos no prolongamento da vida útil dos instrumentos rotatórios de Ni-Ti em relação à fadiga. Os benefícios do polimento eletrolítico são causados pela redução das irregularidades nas superfícies que originam a concentração de tensão e inícios das trincas (“cracks”).

Plotino, et al., 2007 avaliaram a resistência à fadiga de instrumentos rotatórios de NiTi quando utilizados com pressão lateral (“lateral brushing”) e sem pressão (“no brushing”) em condutos radiculares ovais. A vida útil dos instrumentos e o maior calibre em relação à fadiga, podem ser prolongados através da utilização de pressão lateral ou movimento de pressão. Os instrumentos rotatórios de NiTi (Mtwo®) podem ser utilizados com sucesso intracanal, demonstrando segurança nos movimentos de pressão durante a instrumentação dos condutos radiculares em simulações de condições clínicas em até 10 vezes.

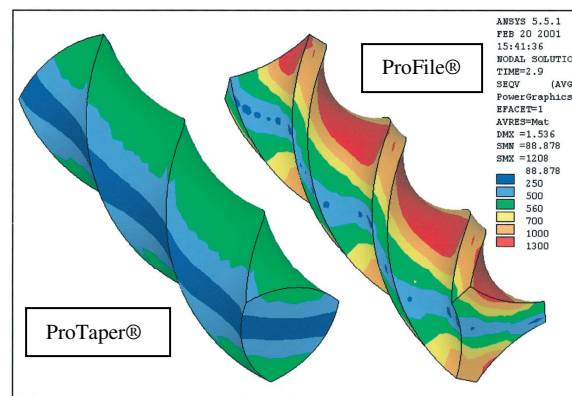
Cheung, et al., 2007 compararam o comportamento de instrumentos rotatórios de Ni-Ti em fadiga de baixo ciclo, submetidos à flexão em um modelo rotacional (limas rotatórias) em um conduto radicular curvo de aço inoxidável e submerso em água deionizada e observaram uma diminuição na vida dos instrumentos em fadiga de baixo ciclo. A vida em fadiga de baixo ciclo de instrumentos rotatórios de Ni-Ti, diminuiu com o aumento do nível de deformação superficial, mas não foi afetada pela secção transversal desses instrumentos.

Gambarini, et al., 2008 observaram que as limas freqüentemente disponíveis de grande conicidade apresentam risco de fratura por flexão à fadiga durante a instrumentação de condutos com curvaturas acentuadas, devido ao maior diâmetro (taper) desses instrumentos, ocasionando tensão e compressão dessas limas quando solicitadas no interior dos condutos radiculares curvos.

Capítulo 3

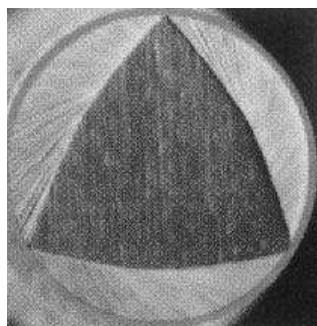
Materiais e Métodos

Foram utilizados dois tipos de instrumentos rotatórios de Ni-Ti (limas) das marcas ProTaper® e ProFile® do mesmo fabricante (Dentsply Tulsa Dental® – Suíça) com geometrias diferentes (figura 3.1). Essas limas foram submetidas à análise química por espectrometria de fluorescência de raios X, difração de raios X, análise metalográfica, fratrográfica, ensaios de microdureza, ensaios de fadiga e análise das superfícies de fratura.

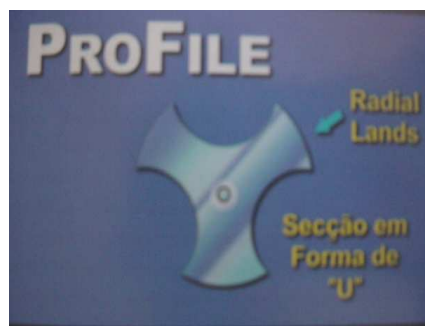


(a)

Figura 3.1- (a) mostra dois tipos de instrumentos rotatórios de Ni-Ti (limas) das marcas ProTaper® e ProFile® do mesmo fabricante (Dentsply Tulsa Dental® - Suíça) com geometrias diferentes (Berutti, et al., 2003); (b) mostra a forma geométrica do instrumento endodôntico rotatório ProTaper® (corte transversal); (c) mostra a forma geométrica do instrumento endodôntico rotatório ProFile® (corte transversal).



(b)



(c)

3.1 – Materiais

Os instrumentos endodônticos rotatórios de Ni-Ti (ProTaper® e ProFile®-Dentsply Tulsa Dental® - Suíça) foram inicialmente segmentados (02 limas de cada tipo) em seu terço médio entre o cabo e o início da ponta ativa (figura 3.2), em seguida esses segmentos foram incluídos em base acrílica (Copolímero Metil Etil Metacrilato Auto-polimerizante), sendo dois segmentos de cada tipo de lima por inclusão, nos sentidos horizontal e vertical e posteriormente submetidos às análises (figura 3.6). As técnicas utilizadas para essas análises foram espectrometria de fluorescência de raios X, análise por difração de raios X, microdurômetro, microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura.

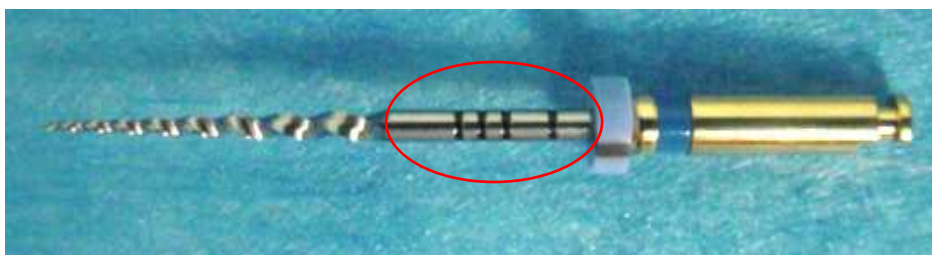


Figura 3.2- mostra a região dos instrumentos endodônticos rotatórios de Ni-Ti (ProTaper® e ProFile®-Dentsply Tulsa Dental® - Suíça) que foi inicialmente segmentada (02 limas de cada tipo) em seu terço médio entre o cabo e o início da ponta ativa.

3.2 – Análise química

A espectrometria de fluorescência de raios X envolve um grupo de métodos instrumentais não destrutivos de análises químicas qualitativa e quantitativa para elementos químicos baseados na medida do comprimento de onda ou da energia e intensidade de suas linhas espectrais de emissão secundária. Nesse estudo foi utilizado o equipamento de espectrometria de fluorescência de raio X Rigaku RIX 3100 (Rigaku Industrial Corporation, Osaka-Japão) do Departamento de Engenharia de Materiais – FEM (Figura 3.3). A amostra I representa o instrumento rotatório de Ni-Ti (lima) da marca ProTaper® e a amostra II representa o instrumento rotatório de Ni-Ti (lima) da marca ProFile®.

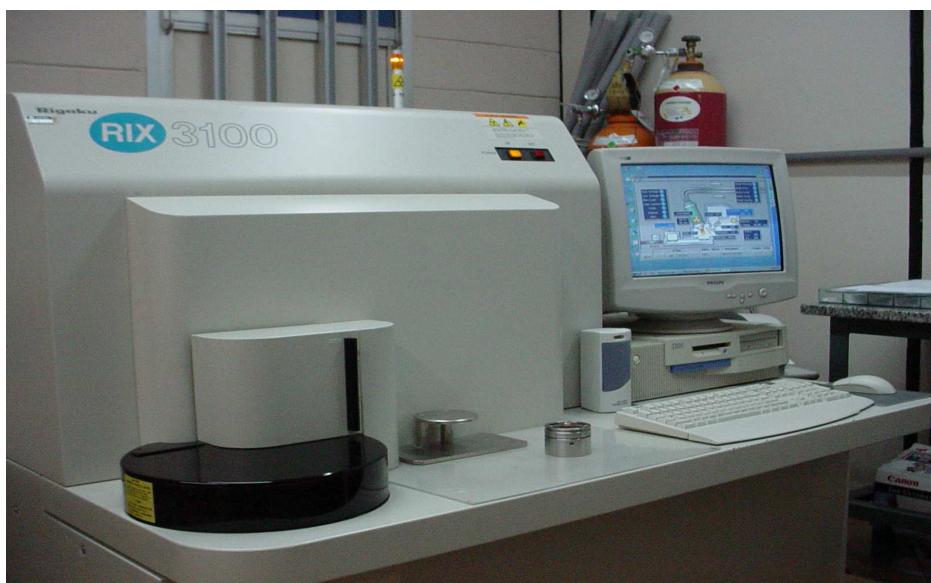


Figura 3.3- Equipamento Rigaku RIX 3100

3.3 - Difração de raios-X

Um difratograma é visto como uma “impressão digital” da amostra sendo um instrumento muito importante na identificação de fases cristalinas. Os raios-X são ondas eletromagnéticas da mesma natureza da luz mas com comprimento de onda muito menor ($\lambda \approx (10^{-3} - 10) \text{ nm}$) e produzidos quando elétrons, os quais foram acelerados em um campo elétrico, se deparam com um anodo metálico. O feixe difratado tem comprimento de onda na faixa de 0,05-0,25 nm, distinguido dentro de um espectro característico e contínuo.

Quando um feixe de raios-X se depara com um plano cristalográfico qualquer átomo da estrutura cristalina atua como um centro de espalhamento. Os raios-X dispersos por todos os átomos em todos os planos da rede sobrepõem-se formando caminhos diferentes entre planos vizinhos. Para diferenças de caminhos de 0, λ , 2λ , 3λ , ..., isto é, para uma direção distinta, o feixe difratado é formado (interferência construtiva). Em todas as outras direções de espaço, os feixes espalhados estão fora de fase anulando-se entre si (interferência destrutiva). O porta-amostra em forma de disco gira em torno do seu eixo e de acordo com o ângulo θ de incidência dos raios-x. Nessa direção θ , o movimento do porta-amostra, do detector e da fonte de raios-X é sincronizado.

As análises foram realizadas em um difratômetro da marca Rigaku do Departamento de Engenharia de Materiais – FEM, com tubo de cobre ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$), tensão aplicada de 50 kV e corrente de 20 mA. A identificação das fases foi feita em um banco de dados JCPDS (Joint Committee for Powder Diffraction Standards) conforme a figura 3.4 abaixo.

Após a obtenção dos gráficos de difração das duas amostras, os resultados serão comparados ao diagrama de fases (figura 3.5) para a análise das possíveis fases existentes.



Figura 3.4- Difratorômetro da marca Rigaku do Departamento de Engenharia de Materiais – FEM, com tubo de cobre ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$), tensão aplicada de 50 kV e corrente de 20 mA, utilizado para a identificação das fases com auxílio de um banco de dados JCPDS (Joint Committee for Power Diffraction Standards)

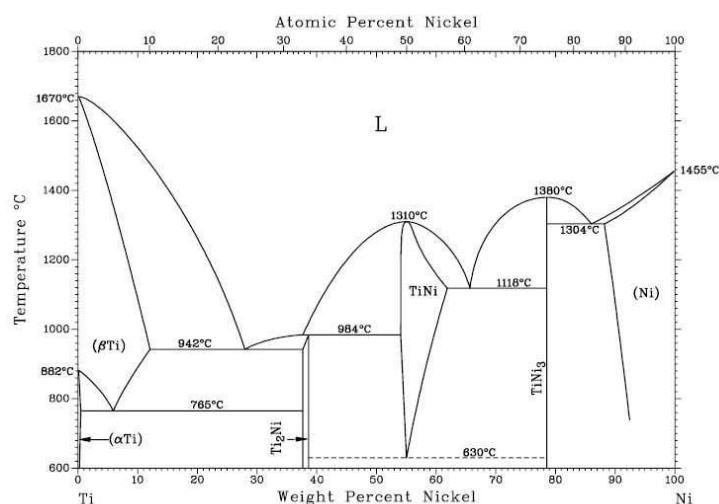
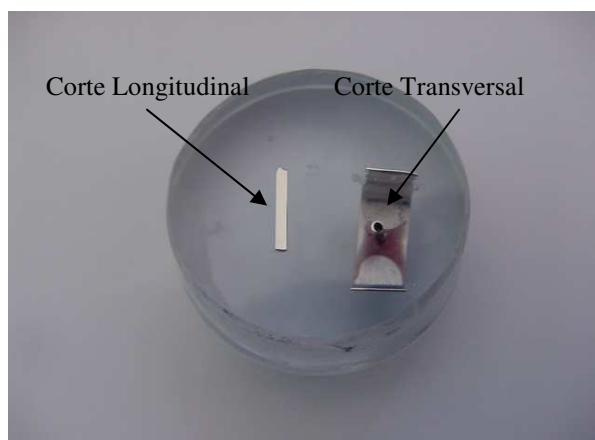


Figura 3.5- Diagrama de fases que será utilizado para relacionar os resultados obtidos na difração de raios X.

3.4 – Análise metalográfica

3.4.1 – Preparação das Amostras para Análise Metalográfica

Os principais passos para o exame metalográfico consistem na preparação da amostra, revelação da microestrutura e sua interpretação em um microscópio óptico. Uma investigação metalográfica satisfatória deve incluir uma área plana representativa do material que para distinguir claramente os detalhes estruturais deve ser livre de deformações na superfície, manchas ou riscos. Dessa forma, ao ser escolhida a região de interesse as amostras foram cortadas em seções transversais e longitudinais em um equipamento com disco diamantado refrigerado com água. Logo após seguiu-se com o embutimento das peças. Uma peça embutida facilita o manuseio e é um procedimento necessário para a preparação de espécimes irregulares, pequenas ou frágeis. No embutimento as amostras foram incluídas em base acrílica (Copolímero Metil Etil Metacrilato Auto-polimerizante) sendo dois segmentos de cada marca por inclusão nos sentidos horizontal e vertical e posteriormente submetidos às análises, conforme demonstrado na figura 3.6.



(a) Amostra vista de cima



(b) Amostra vista de ângulo

Figura 3.6 (a, b)- Amostras embutidas que foram incluídas em base acrílica (Copolímero Metil Etil Metacrilato Auto-polimerizante) sendo dois segmentos de cada marca (ProTaper® e ProFile®) por inclusão nos sentidos horizontal e vertical e posteriormente submetidos às análises.

Ao atingir essa etapa a amostra passou por processos de lixamento e polimento. A proposta dessa preparação mecânica é produzir uma superfície lisa e homogênea por meio da remoção passo a passo de camadas do material. As peças foram lixadas segundo a sequência de lixas de carboneto de silício com granulações 100, 220, 320, 400, 600, 800, 1.000 e 1.200, sendo logo após limpas com ultrassom e polidas em panos com abrasivo de suspensão de diamante de 6 μm e suspensão de alumina de 1 μm .

Como as fases metálicas geralmente não exibem diferenças significativas na reflectividade óptica, a microestrutura se tornará visível somente depois de um ataque químico. Na revelação da microestrutura, foi empregado um ataque químico constituído de uma solução com 10 ml de HS, 25ml de HNO₃, 150 ml de H₂O, por três minutos.

3.4.2 – Microscopia Óptica

A microscopia óptica é a técnica mais empregada na observação de amostras metalográficas, permitindo identificar fases, precipitados, contornos de grãos, inclusões, porosidades ou fraturas, dentre outros. No microscópio de luz refletida, mais conhecido como microscópio metalúrgico, a fonte de luz encontra-se perpendicular ao espécime. Os raios provenientes da fonte são interceptados por um sistema de lentes condensadoras e diafragmas. Ao alcançar o meio-espelho, o feixe é refletido na direção da objetiva e em seguida projeta-se sobre superfície metálica. A superfície reflete o feixe que retorna pelo mesmo eixo óptico sendo transmitido pelo meio-espelho para o tubo de observação, onde a imagem pode ser vista através das oculares ou registrada por uma câmera (Tomer, 1993). O percurso do feixe de luz é apresentado na figura 3.7.

Nesse estudo empregou-se um microscópio de luz refletida modelo Olympus BX 60M do Laboratório de Solidificação Controlada - FEM, com aumento de 1.000 vezes. Uma câmera digital (Evolution LC Color) conectada ao equipamento envia a imagem para um programa (Image-Pro Express) que permite analisar a amostra de forma mais cuidadosa. (Figura 3.8).

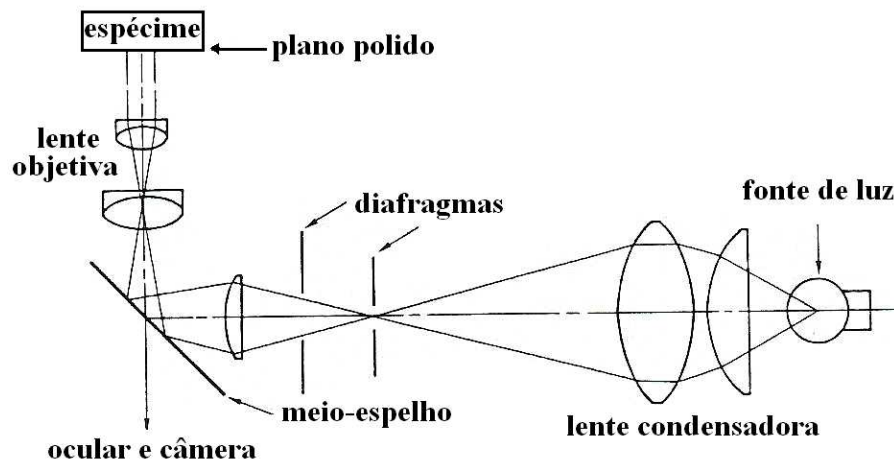


Figura 3.7- Diagrama esquemático do microscópio metalúrgico (Tomer, 1993).



Figura 3.8- Microscópio de luz refletida modelo Olympus BX 60M do Laboratório de Solidificação Controlada – FEM, onde as imagens metalográficas foram capturadas para análise.

3.5 – EDS (Energy Dispersive Spectroscopy)

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) é utilizada em várias áreas do conhecimento. Seu considerável sucesso advém da facilidade na preparação de amostras para análise, excelente contraste e grande profundidade de foco. Sua resolução é da ordem de 3 nm (para um MEV convencional), enquanto que o microscópio óptico chega a 0,25 μm . Tal resolução do MEV permite que se obtenham aumentos da ordem de 150.000 vezes.

A imagem eletrônica de varredura é formada pela incidência de um feixe de elétrons na amostra, sob condições de vácuo. No canhão de elétrons, a passagem de uma corrente através do filamento aquece-o até o ponto onde o gradiente de voltagem entre o filamento e o anodo gera um feixe de elétrons que são acelerados pela diferença de potencial existente, denominada tensão de aceleração. A tensão de aceleração vai depender do tipo do espécime (amostras condutoras ou não condutoras) e do tipo de informação desejada. Ao redor do filamento é colocado um escudo (Wehnelt), responsável por colimar os elétrons e dirigi-los ao anodo. O diâmetro do feixe que sai do canhão de elétrons é diminuído por lentes magnéticas. A lente denominada condensadora é responsável por formar a sonda. Um sistema de bobinas defletoras em frente à última lente varre a sonda de elétrons que atinge a amostra e em sincronia com o feixe de elétrons de um tubo de raios catódicos (TRC) separado (Reimer, 1985). O esquema de funcionamento do MEV pode ser visto na figura 3.9a de forma bastante simplificada.

A interação do feixe com a amostra geram muitos sinais que podem ser usados para produzir uma imagem e realizar microanálise química. Para o aproveitamento desses sinais são colocados vários detectores localizados na câmara da amostra. Os sinais mais utilizados para produzir imagens são os elétrons secundários (ES) e elétrons retroespalhados (ER). Para a microanálise é usado o sinal de raios-X.

O volume de interação partícula-material oriundo dos diferentes espectros é conhecido como pênula de emissão, apresentada na figura 3.9 b, cuja dimensão depende da energia e do diâmetro do feixe dos elétrons incidentes, bem como da composição química do material irradiado. Os elétrons secundários são provenientes de camadas mais próximas à superfície,

enquanto que os elétrons retroespalhados são reemitidos de profundidades maiores e se estendem até a parte intermediária do volume de interação. As imagens com elétrons secundários apresentam um contraste devido à topografia da amostra e graças à profundidade de campo do microscópio. Com os elétrons retroespalhados o sinal mostra um contraste de composição química e as fases aparecem mais ou menos claras de acordo com a média dos números atômicos dos elementos presentes. Quanto maior o número atômico, maior o número de elétrons retroespalhados e, portanto, mais intenso é o sinal e mais clara a imagem sobre a tela.

Os raios-X são gerados a uma profundidade grande no espécime, e muitos possuem energia suficiente para passar do espécime e serem detectados. Durante a irradiação, um elétron do feixe primário pode atingir um átomo que ejeta um elétron de uma camada mais interna. O elétron de uma camada mais externa de maior energia ocupa a vacância deixada e o átomo simultaneamente emite um raio-X que tem energia igual a diferença de energia entre as duas camadas. Como esse quantum de energia caracteriza unicamente as transições atômicas de um dado elemento, ele é chamado raio-X característico. Essa medida de energia é usada na técnica denominada espectroscopia de energia dispersiva (EDS – Energy Dispersive Spectroscopy). Quando um raio-X sai da amostra e atinge o detector esse sinal é analisado para que se determine a que material ele corresponde.

Análises quantitativas, imagens de elétrons secundários e retroespalhados foram realizadas utilizando um microscópio JEOL, modelo JXA 840-A do Departamento de Engenharia de Materiais – FEM, com filamento de tungstênio e microsonda EDS Noram (figura 3.10). As amostras foram embutidas, lixadas, polidas, atacadas quimicamente e posteriormente recobertas com uma fina camada de ouro. A tensão de aceleração usada nas análises foi de 25 kV. Além desse Microscópio Eletrônico de Varredura do Departamento de Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia Mecânica, foi também utilizado outro microscópio, LEO modelo 440i, da Faculdade de Engenharia Química da Unicamp.

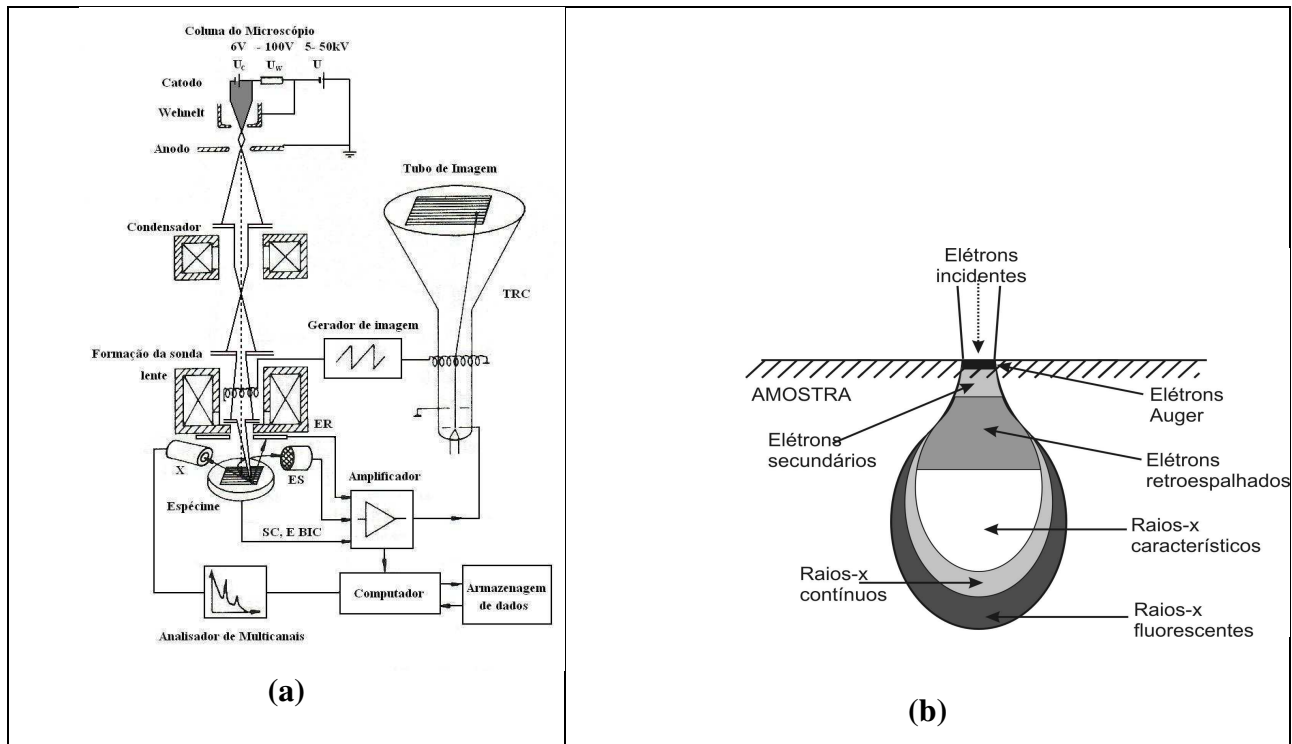


Figura 3.9. a) Esquema de funcionamento do MEV; b) Interações entre o feixe incidente e a amostra (Reimer,1985).



Figura 3.10- Microscópio JEOL, modelo JXA 840-A do Departamento de Engenharia de Materiais – FEM, cuja interação do seu feixe com a amostra geram muitos sinais que podem ser usados para produzir uma imagem e realizar a microanálise do material.

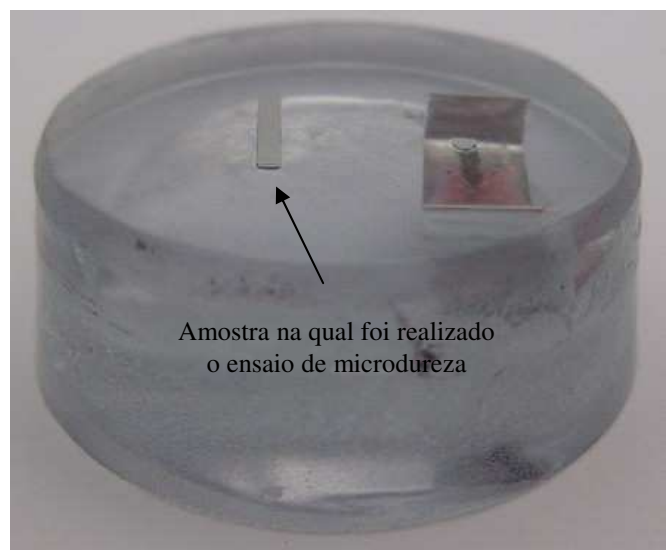
3.6 – Microdureza

Foram realizados ensaios de microdureza Vickers com a finalidade de se obter o perfil de dureza de dois tipos de instrumentos rotatórios de Ni-Ti, ProTaper® e ProFile®. Os ensaios foram realizados em um microdurômetro Buehler, modelo 2100, calibrado pela Holtermann Comercial e Técnica Ltda. em agosto de 2007 (manutenção preventiva no. 9261/07). Os ensaios foram realizados com carga de 1 kgf, de acordo com a norma ASTM E 384 - 07 ("Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials; American Society for Testing and Materials", 2007).

Os ensaios de microdureza foram realizados a partir de 0,3 mm da superfície lateral até 4,3 mm, com incrementos de 0,5 mm. As amostras utilizadas constam nas figura 3.11 abaixo.



(a) Amostra vista de cima.

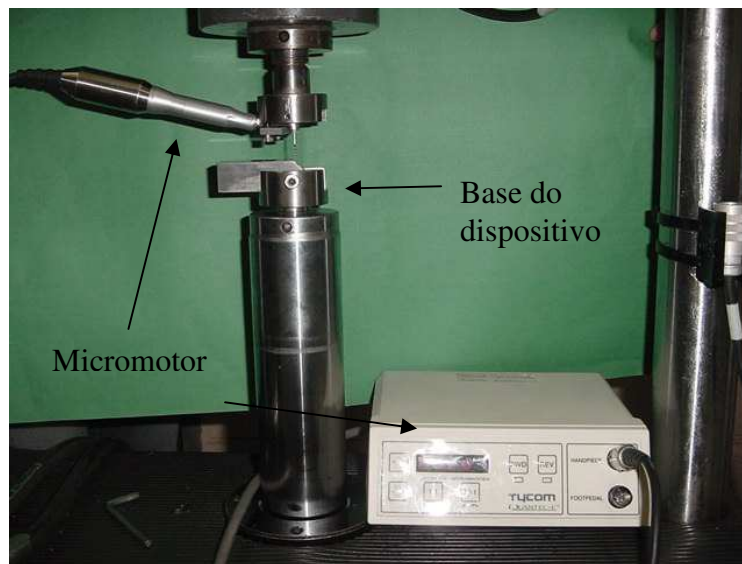


(b) Amostra vista de ângulo

Figura 3.11– Amostras utilizadas na análise de microdureza Vickers- fragmentos das limas embutidos em resina acrílica.

3.7 – Ensaios de Fadiga

Os ensaios de flexão à fadiga foram realizados com o objetivo de obter as superfícies de fratura e não o estudo das propriedades mecânicas de fadiga. Foi utilizada uma máquina servo-hidráulica MTS (Machine Test Sistem), modelo 810/TestStar II, disponível no laboratório de propriedades mecânicas do Departamento de Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP, utilizando-se carga de 1N, frequência de 1 ciclo por segundo e foi adaptado um micromotor para instrumentos rotatórios de Ni-Ti da marca Tycom, com rotação de 300 rpm (rotações por minuto). Na base da MTS foi adaptado um dispositivo de aço inoxidável com uma curvatura e, no centro dessa curvatura, foi feito um canal simulando o conduto radicular. Os instrumentos rotatórios de Ni-Ti das marcas Protaper® (F-3) e ProFile® (.04) foram inseridos no contra ângulo do micromotor rotatório a uma velocidade de 300rpm, simulando o movimento de instrumentação endodôntica (amplitude superior e inferior-direção vertical) e submetidos a esforços cíclicos até o momento de fratura. Posteriormente (item 4.6) foram analisados no Microscópio Eletrônico de Varredura. A Figura 3.12 mostra esse dispositivo de ensaio adaptado no pistão da MTS.



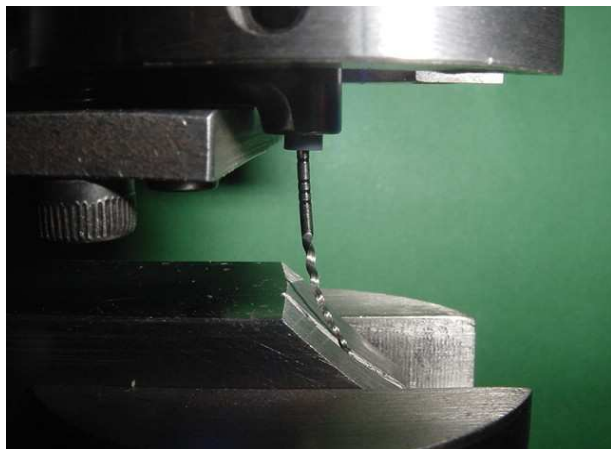
(a) Dispositivo adaptado na máquina de ensaio.



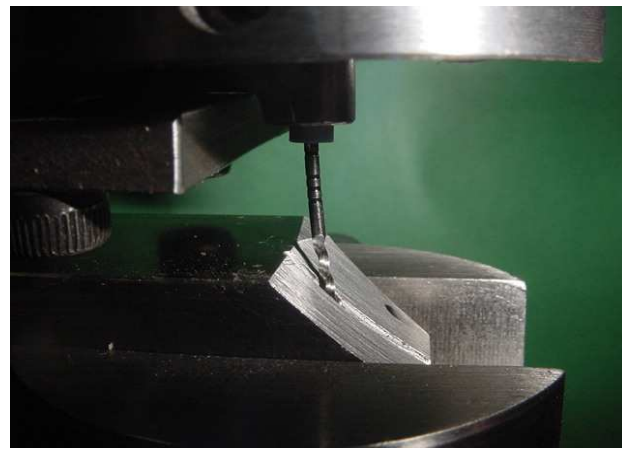
(b) Vista em ângulo



(c) Vista lateral.



(d) Vista lateral inserção da lima



(e) Vista lateral da lima inserida

Figura 3.12- Fotografias do dispositivo utilizado no ensaio de fadiga dos instrumentos rotatórios de Ni-Ti (limas), mostrando várias vistas. O dispositivo mostra o micromotor acoplado na MTS e na base o dispositivo de aço inoxidável onde a lima será inserida em movimentos de flexão até a fratura. (Continua).



(f) Vista em ângulo da lima inserida

Figura 3.10- Fotografias do dispositivo utilizado no ensaio de fadiga dos instrumentos rotatórios de Ni-Ti (limas), mostrando várias vistas. O dispositivo mostra o micromotor acoplado na MTS e na base o dispositivo de aço inoxidável onde a lima será inserida em movimentos de flexão até a fratura. (Continuação).

Capítulo 4

Resultados e Discussão

4.1 – Análise Química (Espectrometria por Fluorescência de raios X)

Foram realizadas análises químicas em dois tipos de instrumentos rotatórios de Ni-Ti (limas) da marca ProTaper® e ProFile®, sendo que foram realizadas duas análises para cada instrumento (lima). A Tabela 4.1 apresenta os resultados dessas análises. Observa-se que a lima ProTaper® possui 57,8% em peso de níquel e 42,2% em peso de titânio e a ProFile® possui da ordem de 59% em peso níquel e 41% em peso de titânio. Esses resultados mostram que a composição química nominal das duas limas é praticamente a mesma.

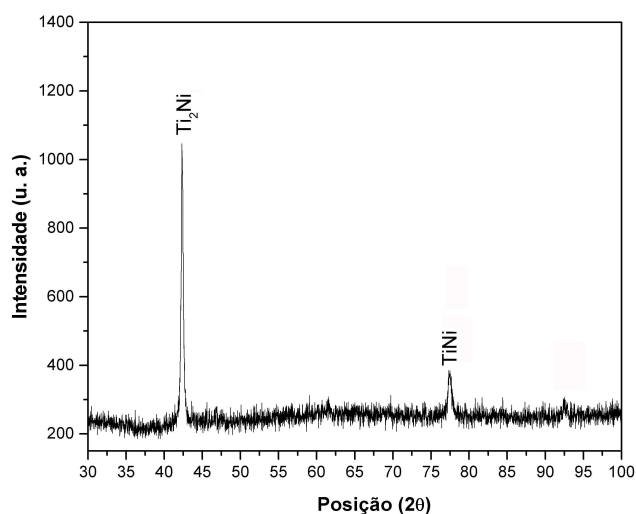
Tabela 4.1. Composição química, obtida por espectrometria por fluorescência de raios X, de dois tipos de intrunetos rotatórios de Ni-Ti da marca ProTaper® e ProFile®. (% em peso).

		Ni	Ti
Amostra I (ProTaper – Dentsply Tulsa Dental – Suíça)	Análise 1	57,66	42,34
	Análise 2	57,97	42,03
Amostra II (ProFile – Dentsply Tulsa Dental – Suíça)	Análise 1	59,43	40,57
	Análise 2	58,59	41,41

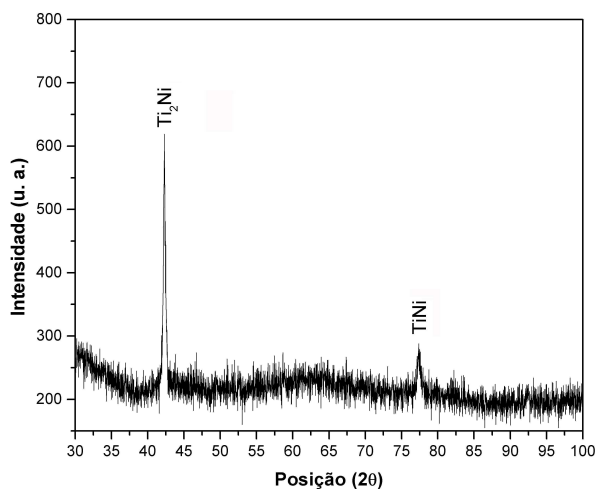
A partir de 1960 as ligas de Ni-Ti foram desenvolvidas por W.F Buehler (Buehler et al. 1963). Thompson, et al., 2000 e Gambarini, et al., 2008, afirmaram que as ligas utilizadas em Endodontia contém aproximadamente 56% de Ni e 44% de Ti.

4.2 – Difração de raios X

A Figura 4.1 mostra os resultados encontrados na análise por difração de raios X em uma amostra, de dois tipos de instrumentos rotatórios de Ni-Ti (limas), ProTaper® e em outra da ProFile®. Esses resultados indicam a presença de duas fases, Ti_2Ni e TiNi , que foram obtidos por meio da relação do difratograma com o diagrama de fases em equilíbrio Ni-Ti.



(a) ProTaper



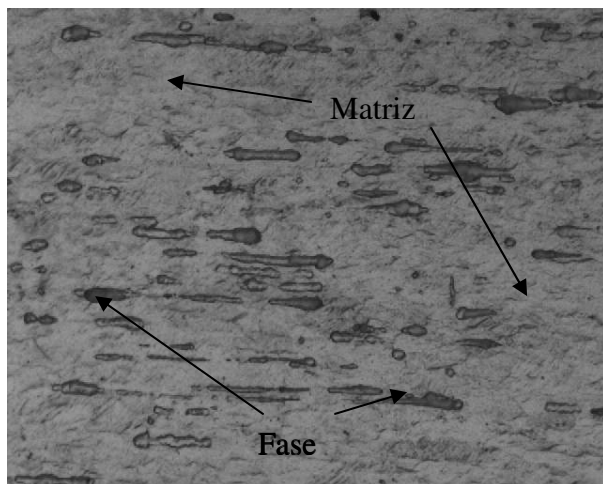
(b) ProFile

Figura 4.1- Espectro de difração de raios X para os instrumentos rotatórios de Ni-Ti, ProTaper® (a) e ProFile® (b), mostrando a presença de duas fases: Ti_2Ni e $TiNi$.

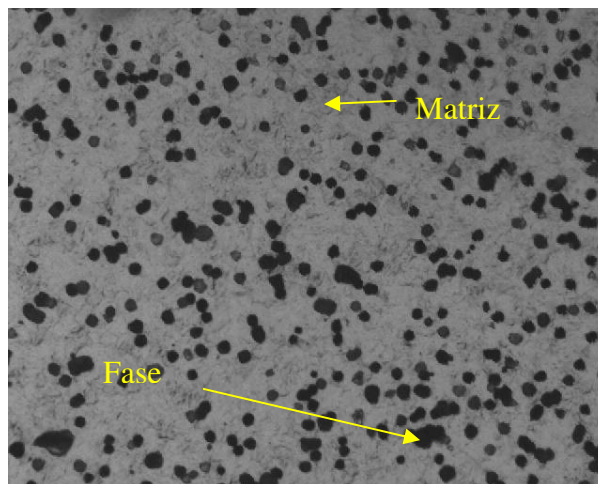
4.3 – Análise Metalográfica

Após a preparação das amostras e a obtenção das imagens por meio de microscopia óptica, anteriormente apresentadas no Capítulo Materiais e Métodos, foram encontrados os resultados da análise metalográfica.

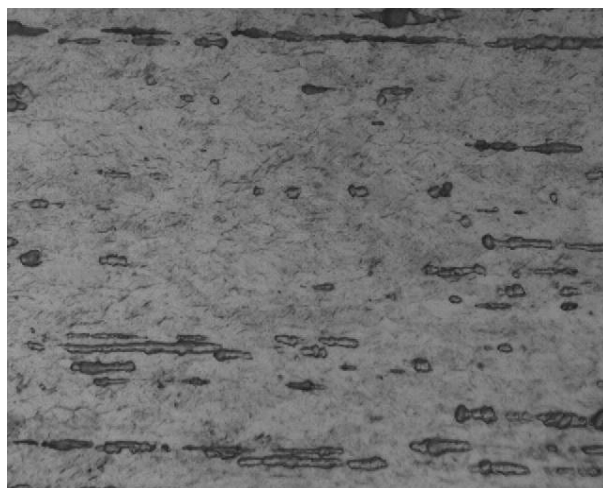
A amostra I (Figura 4.2, a e b) e a amostra II (Figura 4.2, c e d) foram embutidas com fragmentos de instrumentos rotatórios de Ni-Ti, ProTaper® e ProFile® nos sentidos longitudinal e transversal. As imagens das micrografias obtidas, no corte longitudinal, sugerem a presença de uma matriz, região predominantemente mais clara e uma fase secundária em forma de bastonetes, região mais escura. No corte transversal aparece a matriz na região mais clara e a fase secundária em forma de pontos escuros.



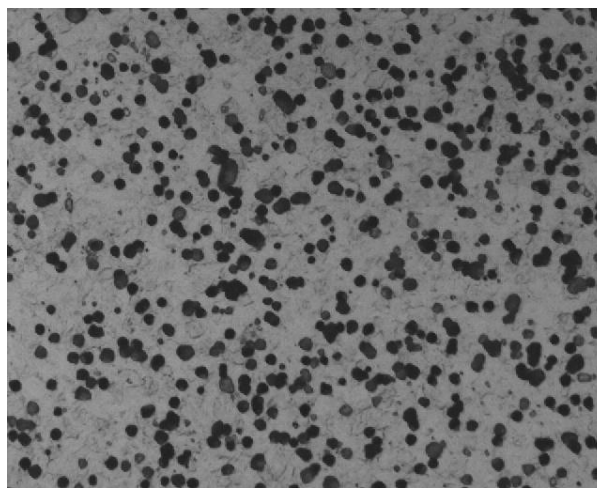
(a) Longitudinal.



(b) Transversal.



(c) longitudinal.



(d) transversal.

Figura 4.2- Micrografias da lima ProTaper® (a, b) e ProFile® (c, d) nos sentidos longitudinal e transversal. As regiões semelhantes a bastonetes (região escura) sugerem a fase secundária do material e a região clara a matriz, no corte longitudinal. Observa-se, no corte transversal, a região mais clara ao redor da região pontos escuros sugerindo a matriz do material e os pontos escuros a fase secundária.(aumento 400x)

4.4 – Espectrometria por Energia Dispersiva de Raios X - EDS (Energy Dispersive Spectroscopy)

O EDS é um acessório essencial no estudo da caracterização microscópica dos materiais. Esta técnica permite qualificar e quantificar os elementos presentes no material.

Os resultados encontrados foram obtidos por meio da interação do feixe de raios X com a amostra, gerando sinais que serão usados para produzir a imagem e realizar a microanálise química. Os sinais mais utilizados são os elétrons secundários (ES) e elétrons retroespalhados (ER). Observa-se que as duas amostras (I- ProTaper® e II- ProFile®) demonstraram que o material apresenta uma região da fase (Ti_2Ni) e uma região da matriz (TiNi) com resultados muito próximos sugerindo que a composição do material seja praticamente a mesma.

A figura 4.3 abaixo, mostra os resultados de EDS da amostra I (instrumento rotatório de Ni-Ti, ProTaper®) e amostra II (instrumento rotatório de Ni-Ti, ProFile®).

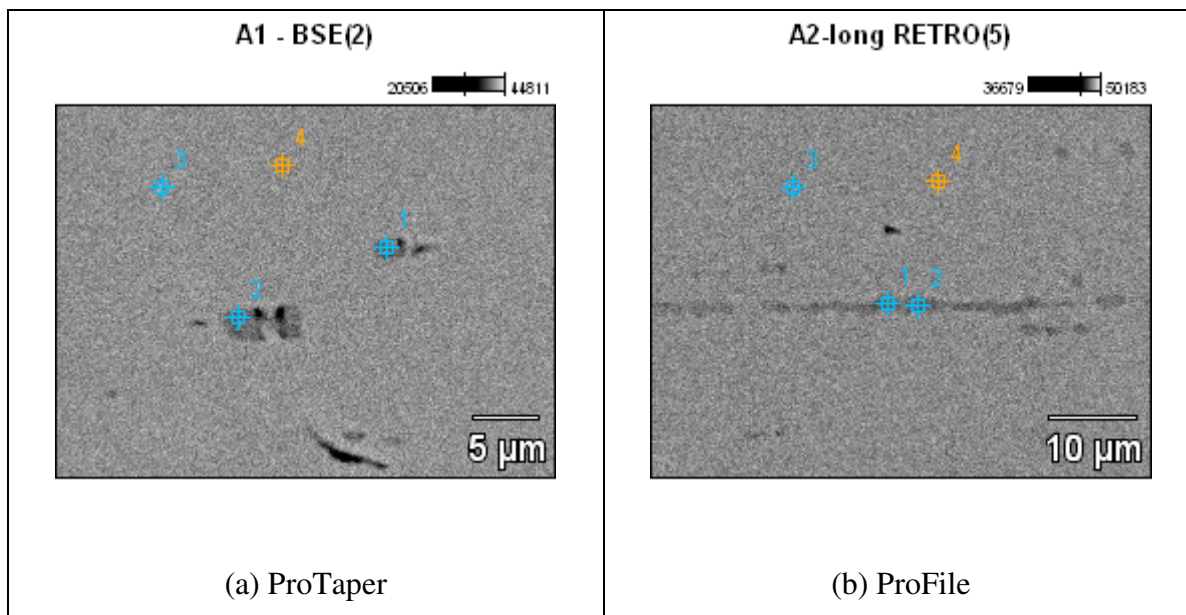


Figura 4.3- Mostra a localização dos pontos selecionados para a análise de EDS na amostra I (a- ProTaper®) e amostra II (b- ProFile®). Observa-se os pontos 1 e 2 na região da fase e os pontos 3 e 4 na região da matriz. As composições químicas desses pontos encontram-se na Tabela 4.1.

A tabela 4.2 apresenta os resultados das análises químicas - EDS - das amostras I (ProTaper®) e II (ProFile®). Observa-se que os resultados dessas duas análises, nas regiões da fase (pontos 1 e 2) e da matriz (pontos 3 e 4), estão próximos.

Tabela 4.2. Resultados das análises (% átomos) de EDS das amostras I (ProTaper®) e II (ProFile®). Os pontos 1 a 4 estão indicados na Figura 4.3.

Amostra (% Atom)	Medidas	Ti	Ni
Amostra I (% Atom.)	Ponto 1 (fase)	59	40
	Ponto 2 (fase)	63	37
	Ponto 3 (matriz)	51	49
	Ponto 4 (matriz)	51	49
Amostra II (% Atom.)	Ponto 1 (fase)	63	37
	Ponto 2 (fase)	61	39
	Ponto 3 (matriz)	51	49
	Ponto 4 (matriz)	51	49

Os pontos 1 e 2 do material das amostras I (ProTaper®) e II (ProFile®) apresentam a composição química da fase encontrada no material e observa-se que em ambos, os resultados encontrados, são aproximadamente iguais (Ti₂Ni). A região da matriz dos materiais esta demonstrada nos pontos 3 e 4 e também apresentam os resultados semelhantes em ambas as amostras (TiNi).

Bahia, et al., 2005 determinaram, para diferentes marcas de instrumentos rotatórios, utilizando EDS, que a composição química de ligas Ni-Ti utilizadas em endodontia é de 51% (em número de átomos), 56 % (em massa) de Ni e 49% (em número de átomos), 44% (em massa) de Ti e concluíram que os materiais, das diferentes marcas analisadas, possuem a mesma composição química. Entretanto, esses resultados estão um pouco diferentes quando comparados com os resultados deste trabalho. É importante salientar que os resultados deste trabalho estão confirmados por outras técnicas, além da EDS. Foram realizadas a análise química por espectrometria de fluorescência de raios X, a análise por difração de raios X, a metalografia e o EDS.

4.5. - Ensaios de Microdureza Vickers

A Tabela 4.3 mostra os resultados dos ensaios de microdureza. Observa-se, nessa tabela, que a microdureza média do instrumento rotatório de Ni-Ti da marca ProTaper® (amostra I) é 343,6 HV1, com o desvio padrão de 5,5, o que corresponde a média de 35,9 HRC (Dureza Rockell C) e desvio padrão de 0,6 HRC. O instrumento rotatório de Ni-Ti da marca ProFile® (amostra II), apresentou a microdureza média de 330,4 HV1 com desvio padrão de 5,6 e o que corresponde a média de 34,5 HRC (Dureza Rockell C) e desvio padrão de 0,6 HRC.

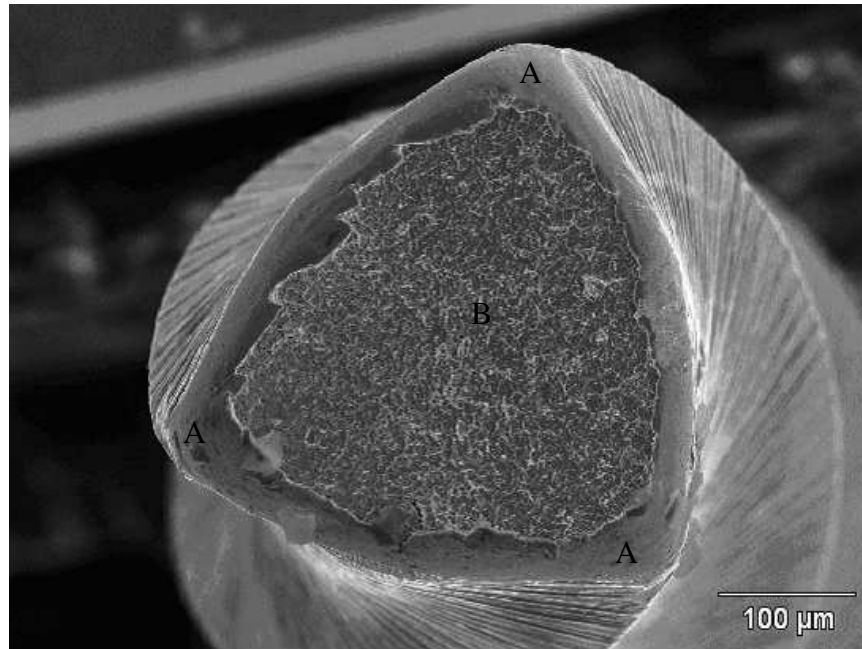
Tabela 4.3 – Os ensaios de microdureza dos instrumentos rotatórios de Ni-Ti da amostra I (ProTaper®) e a amostra II (ProFile®) demonstram que os resultados encontrados nas duas amostras são praticamente semelhantes.

Amostra	Medidas	Vickers (HV1)	Conversão para Rockwell C (HRC)
Amostra I	1	347,0	36,3
	2	337,2	35,2
	3	346,5	36,2
	Média	343,6	35,9
	Desvio Padrão	5,5	0,6
Amostra II	1	336,8	35,2
	2	326,1	34,0
	3	328,3	34,3
	Média	330,4	34,5
	Desvio Padrão	5,6	0,6

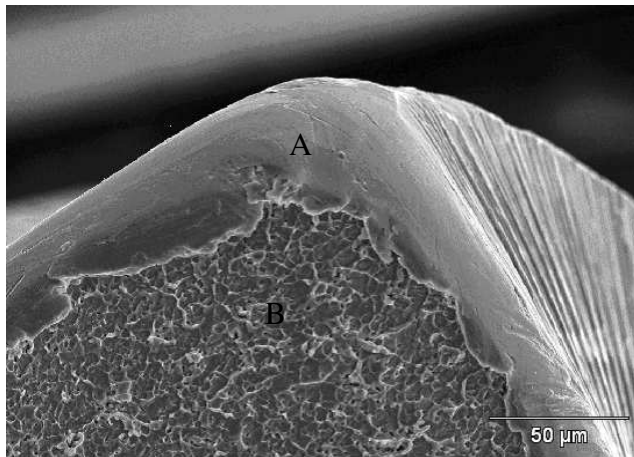
De acordo com a Tabela 4.3, é possível observar que o nível de dureza nos locais analisados das amostras I e II, apresenta uma média na escala Vickers muito próxima. Em ambas as amostras, de 343,6 HV1 (amostra I) e 330,4 HV1 (amostra II), o desvio padrão é praticamente idêntico de 5,5 (amostra I) e 5,6 (amostra II). O resultado da média na conversão para a escala Rockwell C é praticamente o mesmo de 34,8 HRC (amostra I) e 33,3 HRC (amostra II), com desvio padrão idêntico de 0,6 nas duas amostras.

4.6. – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)- Análises das superfícies de fratura

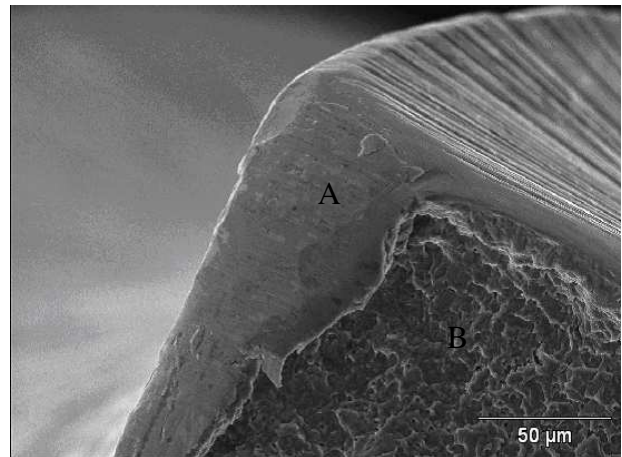
A fratura da figura 4.4 de uma superfície de fratura do instrumento rotatório de Ni-Ti (ProTaper®) apresenta regiões com início de trincas e áreas de fadiga ao redor da região das extremidades com características de fratura por fadiga do material. Wei, et al., 2007 observaram na micrografia da superfície de fratura da lima de Ni-Ti (ProTaper®) a presença de regiões com estrias de fadiga, inícios de trincas e marcas de abrasões circulares indicando um modo combinado de falha do material. A presença das marcas de abrasões circulares, indicaram a separação por falha de cisalhamento (“indicating the shear feature of separated”). Cheung, et al., 2007 observaram falhas de cisalhamento com abrasões concentradas ao redor da área microscópica de fratura alveolar (“dimples”- na região central da fratura) e a presença de estrias de fadiga, entretanto é importante salientar que o termo “marcas de abrasões” não convém ser utilizado, pois não é uma característica desse tipo de fratura (flexão por fadiga). Ounsi, et al., 2007 sugerem que a maior parte do tempo de fadiga do instrumento, ocorreu durante a formação original da trinca ocasionando alta concentração de tensão e levando a uma rápida fratura. A zona da região central indica que a falha originou-se de localizações múltiplas ao redor do perímetro da lima e caminhou em direção ao centro do material com características microscópicas de fratura alveolar (“dimples”). Shen, Y. et al., 2007 observaram microscópicamente a presença de estrias de fadiga produzidas através de falha por fadiga ocasionando a fratura do material por cisalhamento e na região central a área de fratura alveolar (“dimples”).



(a)



(b)



(c)

Figura 4.4- Fratografia da superfície de fratura do instrumento rotatório de Ni-Ti (ProTaper®), com fratura no ensaio de fadiga e a presença de regiões com área de fadiga (A). Observa-se o início de trincas e a área de fadiga ao redor da região das extremidades da lima (A) com características de fratura por fadiga do material e concentradas ao redor da área microscópica de fratura alveolar (“dimples” - B- na região central da fratura).

A figura 4.5 mostra a fratografia de uma superfície de fratura do instrumento rotatório de Ni-Ti (ProFile®) submetido a esforços de flexão à fadiga no dispositivo de ensaio. Lopes, et al., 2007 observaram a análise fratógrfica do material com características macroscópicas morfológicas dúcteis. Por meio de observações microscópicas indicaram falha por cisalhamento do material, marcas de abrasões circulares (A) e a presença na região central de superfície de fratura alveolar (B-“dimples”). As regiões periféricas com abrasões resultantes do processo de fadiga são irregulares, caminhando em alguns locais, em direção ao centro do material sugerindo que essa marca de lima sofreu maior esforço de fadiga antes da fratura, entretanto é importante salientar que o termo “marcas de abrasões” não convém ser utilizado, pois não é uma característica desse tipo de fratura.

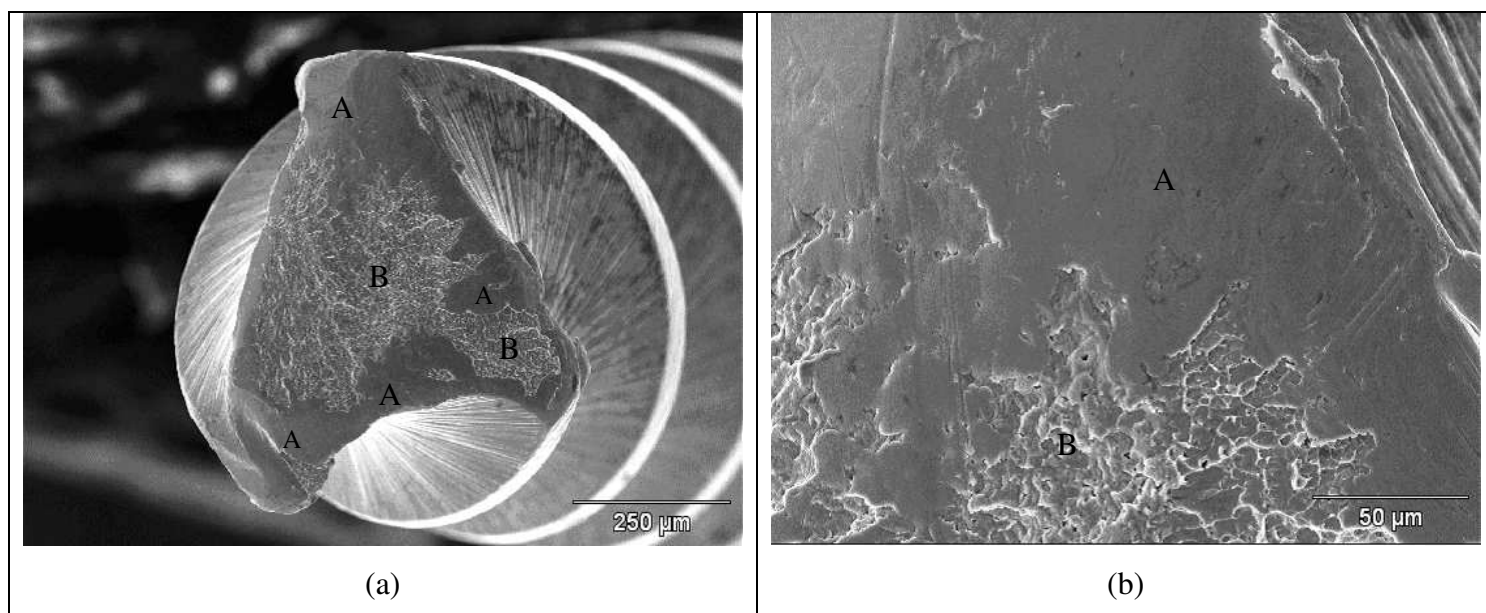


Figura 4.5- Fratografia de superfície de fratura do instrumento rotatório de Ni-Ti (ProFile®). Observa-se a presença de área de fadiga (A) e a área de transição entre a região de fadiga e a região de fratura alveolar (“dimples”-B) no centro do material.(Alapati, et al.,2005)

A figura 4.6 mostra a fractografia de uma superfície de fratura do instrumento rotatório de Ni-Ti (ProTaper®) submetido à fratura por sobrecarga, com auxílio de alicate, diferentemente das fractografias obtidas dos corpos-de-prova dos ensaios de flexão cíclica à fadiga. Essa figura mostra a presença de fratura alveolar (“dimples”) e a ausência de imagens de áreas de fadiga, pois foi submetida a esforço por sobrecarga.

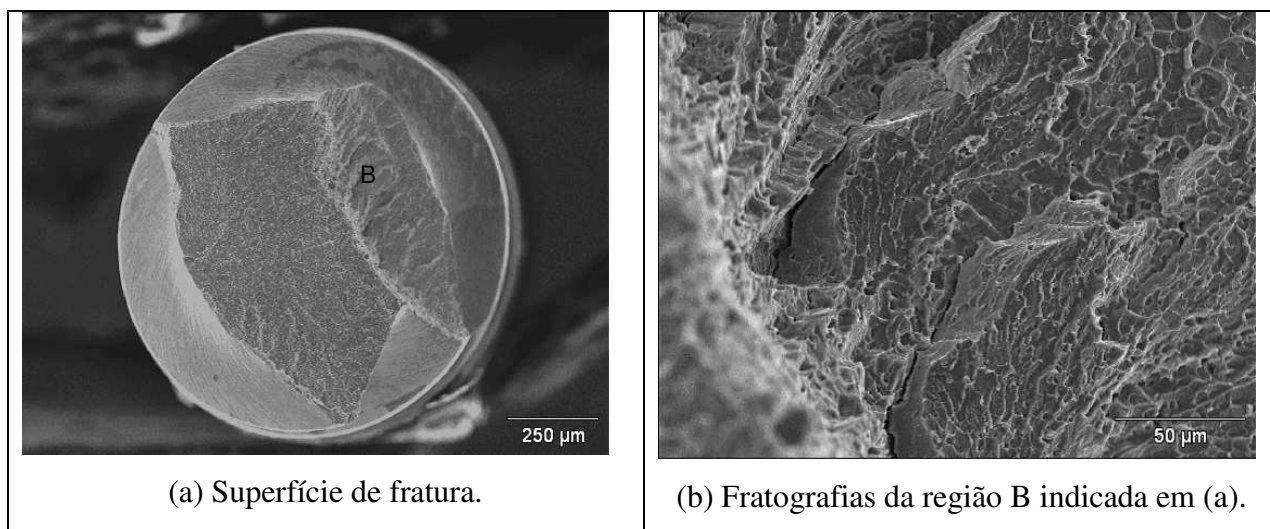


Figura 4.6- Fractografia da lima rotatória de Ni-Ti (ProTaper®) que foi fraturada por sobrecarga, com auxílio de alicate (mecanicamente). Observa-se presença de fratura alveolar (“dimple”)

A fractografia do instrumento rotatório de Ni-Ti (ProTaper®) que foi fraturado no interior de um conduto radicular (fratura em serviço), durante tratamento endodôntico (figura 4.7) e posteriormente descartado, mostra nos ângulos de suas extremidades o início da imagem de fadiga e na região central a imagem de fratura alveolar (“dimple”). Após o início da trinca, observam-se as regiões de transição entre a superfície de fadiga (A-área de fadiga) e a região de fratura alveolar (B-“dimples”). Cheung, et al., 2005 observaram o início de trincas na superfície de fratura na periferia desses instrumentos e a presença na região central de fratura alveolar (“dimples”). Ounsi, et al., 2007 sugerem que a maior parte do tempo de fadiga do instrumento, ocorreu durante a formação original da trinca ocasionando alta concentração de tensão e levando a uma rápida fratura do instrumento.

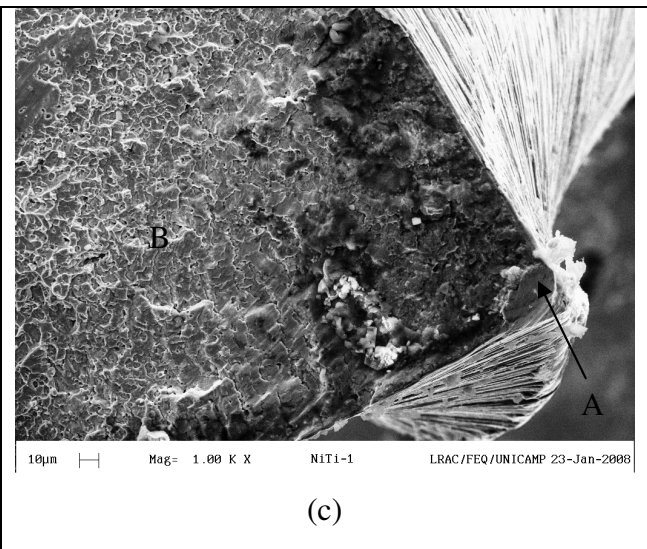
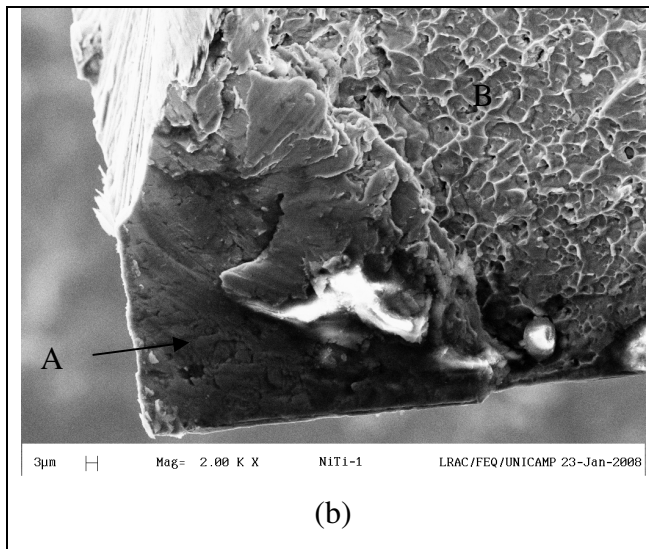
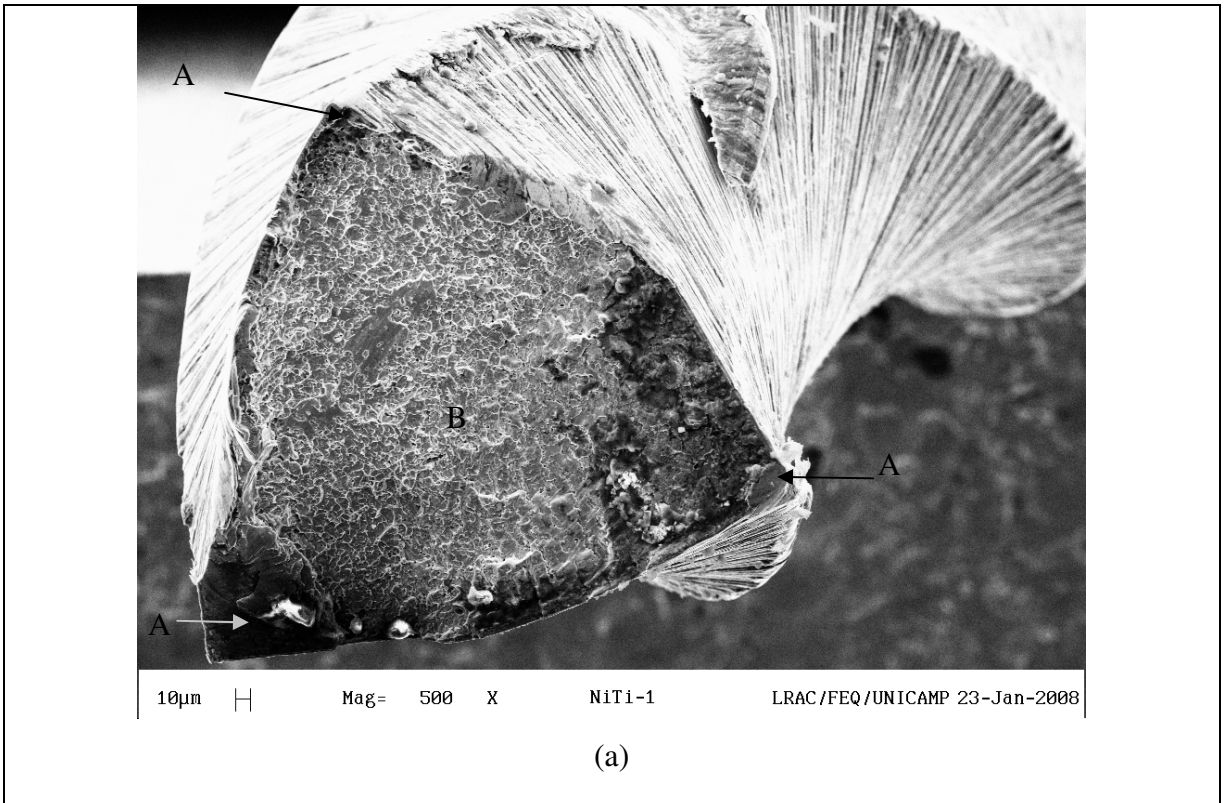


Figura 4.7- Fratografia do instrumento rotatório de Ni-Ti (ProTaper®) que foi fraturado no interior de um conduto radicular durante tratamento endodôntico e posteriormente descartado. Observa-se nos ângulos de suas extremidades (figuras b, c) o início da imagem de fadiga (A) e posteriormente, na região central, a imagem de fratura alveolar (“dimple”) da lima de Ni-Ti (B).

Capítulo 5

Conclusões e Sugestões para Próximos Trabalhos

5.1. Conclusões

Para as condições analisadas neste trabalho, pode-se concluir que:

1. A análise química de espectrometria por fluorescência de raios X demonstrou que a lima ProTaper® possui 57,8% em peso de níquel e 42,2% em peso de titânio e a ProFile® possui 59% em peso de níquel e 41% em peso de titânio. Os resultados foram muito próximos aos especificados pelo fabricante.
2. Foram observadas, nas duas limas, a presença de duas fases, Ti_2Ni e $TiNi$, que foram identificadas por meio de difração de raios X e a relação com o diagrama de fases em equilíbrio Ni-Ti;
3. Por meio da análise metalográfica, em um corte longitudinal das limas, observou-se a presença de uma matriz, região predominantemente clara, e uma fase em forma de bastonetes, região escura. Em um corte transversal, foram observadas a matriz, região clara, e a fase escura na forma de pontos, indicando que a liga apresenta duas fases;
4. A análise por EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) confirmou a presença das duas fases, nas duas amostras (I- ProTaper® e II- ProFile®), e possibilitou identificar a região da fase secundária (Ti_2Ni), como sendo a escura, e uma região clara (matriz) como $TiNi$, com resultados muito próximos para as duas amostras, sugerindo que a composição química das duas ligas é praticamente a mesma. A composição química encontrada foi

de 49% (em número de átomos) de Ni e 51% (em número de átomos) de Ti, em ambas as amostras;

5. As fratógrafias das superfícies de fratura das limas ProTaper® e ProFile®, nos ensaios de fadiga por flexão rotativa, mostraram a presença de duas regiões; uma com área de fadiga, característica da zona de fadiga, e outra com alvéolos ou “dimples”, característica da zona de fratura final;
6. A análise da superfície de fratura da lima de Ni-Ti (ProTaper®) submetida à sobrecarga, com o auxílio de um alicate, mostra a presença de fratura alveolar (“dimples”);
7. Observou-se na lima ProTaper® que falhou em serviço, em um tratamento endodôntico, que a zona de fadiga é muito menor do que a zona de fratura final, indicando que a lima foi solicitada, em uso, com altos níveis de tensões;
8. Pelas análises realizadas foi possível concluir que as falhas das limas em serviço ocorreram por fadiga.

5.2. Sugestões para Próximos Trabalhos

Visando completar este trabalho e contribuir com a diminuição do índice de falha em serviço de limas endodônticas, seria interessante realizar os seguintes trabalhos:

1. Desenvolver estudos visando à caracterização das propriedades de fadiga de limas endodônticas de Ni-Ti de instrumentos rotatórios;
2. Realizar um estudo de análise de falhas em limas de outras marcas, que possuem diferentes geometrias, composições químicas etc;
3. Desenvolver estudos no sentido de entender o porquê da falha por fadiga e como evitá-la ou diminuir ao máximo a sua incidência.

Referências Bibliográficas:

Alapi, S. B., et al. Scanning electron microscope observations of new and used nickel-titanium rotary files. *Journal of Endodontics*. v.29, (10), pp.667-669, 2003.

Alapi, S. B., et al. SEM observations of nickel-titanium rotary endodontic instruments that fractured during canal use. *Journal of Endodontics*. v.31, (1), pp.40-41, 2005.

Alexandrou, G. B., et al. SEM observations of differential scanning calorimetric studies of new and sterilized nickel-titanium rotatory endodontic instruments. *Journal of Endodontics*. v.32, (7), pp.675-679, 2006.

Alexandrou, G., et al. Effect of heat sterilization on surface characteristics and microstructure of Mani NRT rotary nickel-titanium instruments. *International Endodontic Journal*. v.39, (10), pp.770-778, 2006.

Anderson, J. V., et al. Cutting ability of square versus rhombus cross-sectional endodontics files. *Journal of Endodontics*, v.11, pp.212-216, 1985

Anderson, M. E., Price, J. W., Parashos P. Fracture resistance of electropolished rotary nickel-titanium endodontic instruments. *Journal of Endodontics*. v.33, (10), pp.1212-1216, 2007.

Andreassen, G. F., Hilman, T.B. An evaluation of 55-cobalt substituted wire for orthodontics. *Journal of American Dentistry Association*, v.82, pp.1373-75, 1971.

- Bahia, M. G. A., et al. Physical and mechanical characterization and the influence of cyclic loading on the behaviour of nickel-titanium wires employed in the manufacture of rotary endodontic instruments. *International Endodontic Journal*. v.38, pp.795-801, 2005.
- Bakland, L. K. Endodontic mishaps perforations. *C. D. A. Journal*, v.19, pp.41-48, 1991.
- Berutti, E, et al. Comparative analysis of torsional and bending stresses in two mathematical models of nickel-titanium rotatory instruments: ProTaper versus Profile. *Journal of Endodontics*, v.29, (1), pp.15-19, 2003.
- Bonetti, F. I., et al. Microscopic evaluation of three endodontic files pre- and post instrumentation. *Journal of Endodontics*, v.24, (7), pp.461-464, 1998.
- Bortnick, K. L., et al. A Comparison of nickel-titanium file distortion using electric and air-driven handpieces. *Journal of Endodontics*. v.27, (1), pp. 57-59, 2001.
- Bryant, S. T., et al. Shaping ability of .04 and .06 taper Profile rotatory nickel-titanium instruments in simulated root canal. *International Endodontics Journal*. V.32, pp.155-164, 1999.
- Camps, J., Pertot, W. J. Torsional and Stiffness Properties of Canal Master U stainless steel and nitinol instruments. *Journal of Endodontics*. v.20, (8), pp.395-398, 1994.
- Canalda-Sahli, C., et al. A Comparison of bending and torsional properties of K-files manufactured with different metallic alloys. *International Endodontics Journal*. v.29, (3), pp.185-189, 1996.
- Cheung, G.S., et al. Comparison of defects in ProTaper hand- operated and engine-driven instruments after clinical use. *International Endodontics Journal*. v.40, (3), pp.169-178, 2007.

- Cheung, G. S., Darvell, B. W. Low-cycle fatigue of NiTi rotary instruments of various cross-sectional shapes. *International Endodontics Journal*. v.40, (8), pp.626-632, 2007.
- Cheung, G. S., Shen, Y., Darvell, B. W. Does Electropolishing Improve the Low-cycle Fatigue Behavior of a Nickel-Titanium Rotary Instrument in Hypochlorite? *Journal of Endodontics*. v.33, (10), pp.1217-1221, 2007.
- Cheung, G.S., et al. Defects in ProTaper S1 instruments after clinical use: fractographic examination. *International Endodontic Journal*. v.38, (11), pp.802-809, 2005.
- Di Fiori, P. M., et al. Nickel-titanium rotatory instruments fracture: a clinical practice assessment. *International journal of Endodontics*. v.39, (9), pp.700-708, 2006.
- D'Souza, J. E., et al. Cross-Sectional configuration of endodontic files compared with manufacturer's design. *Journal of Endodontics*. v.21, (12), pp.599-602, 1995.
- Dolan, D, Craig, R. Bending and torsion of endodontic file with Rhombus cross sections. *Journal of Endodontics*. v.8, pp.260-264, 1982.
- Gambarini, G., et al., Mechanical properties of a new and improved nickel-titanium alloy for endodontic use: an evaluation of file flexibility. Received for publication Feb 6, 2008. Accepted for publication Feb 12, 2008.
- Govoni, M.F.C. Evolução e características atuais das limas endodônticas. Monografia, Centro de Estudos Odontológicos São Leopoldo Mandic, 2003.
- Grande, N. M., et al. Cyclic fatigue resistance and three-dimensional analysis of instruments from two nickel-titanium rotatory systems. v.39, (10), pp.755-763, 2006.

- Guelzow, A., et al. Comparative study of six rotatory nickel-titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation. *International Endodontic Journal*. v.38, (10), pp.743-752, 2005.
- Haïkel, Y., et al. Mechanical properties of nickel-titanium endodontic instruments and the effect of sodium hypochlorite treatment. *Journal of Endodontics*. v.24, (11), pp.731-735, 1998.
- Ingle, J. I., Levine, M. The need for uniformity of endodontic instruments, equipment and filing materials. *Transactions of the Second International Conference on Endodontics*. pp.123-133, 1958 apud Zuolo, M., Imura, N. *Endodontia para o Clínico Geral*. São Paulo: Artes Médicas: EAP-APCD. v.10, (2), pp-17-26, 1998.
- Kazemi, R. B., et al. The endodontic file is a disposable instrument. *Journal of Endodontics*. v.21, (9), pp.451-455, 1995.
- Krupp, J., et al. An investigation of the torsional and bending properties of seven brands of endodontic files. *Journal of Endodontics*. v.10, pp.372-380, 1984.
- Lauretti, B. M., et. al. *Manual de Técnica Endodôntica*. São Paulo: Editora Santos, 2005, 219p.
- Lautenschlager, E. P., et al. Brittle and ductile torsional failures of endodontic instruments. *Journal of Endodontics*. v.3, pp.175-178, 1997.
- Li, U., et al. Cyclic fatigue of endodontic nickel titanium rotatory instruments: static and dynamic tests. *Journal of Endodontics*. v.28, (6), pp.448-451, 2002.
- Lopes, H. P., et al. Fratura por torção das limas endodônticas de aço inoxidável. *Revista Brasileira de Odontologia*. v.57, (3), pp.142-146, 2000.
- Lopes, H. P., et al. Cyclic fatigue of ProTaper instruments. *Journal of Endodontics*. v.33, (1), pp.55-57, 2007.

- Miserendino, L., et al. Cutting efficiency of endodontic instruments. A quantitative comparison of the tip and fluted regions. *Journal of Endodontics*. v.11, pp.435-441, 1985.
- Ounsi, H. F., et al. Effect of clinical use on the cyclic fatigue resistance of ProTaper nickel-titanium rotary instruments. *Journal of Endodontics*. v.33, (6), pp.737-741, 2007.
- Plotino, G., et al. Influence of a brushing working motion on the fatigue life of NiTi rotary instruments. *International Endodontics Journal*. v.40, (1), pp.45-51, 2007.
- Pruet, J. P., et al. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *Journal of Endodontics*. v.23, (2), pp.77-85, 1997.
- Sattapan, B., et al. Torque during canal instrumentation using rotatory nickel-titanium files. *Journal of Endodontics*. v.26, (3), pp.156-160, 2000.
- Schäfer, E., Tepel J. Cutting efficiency of Hedstrom, S and U files made of various alloys in filling motion. *International Endodontics Journal*. v.29, (5), pp.302-308, 1996.
- Seto, B. G., et al. Torsional properties of twister and machined endodontic files. *Journal of Endodontics*. v.16, (8), pp.355-360, 1990.
- Shen, Y, et al. Comparison of defects in ProFile and ProTaper Systems after clinical use. *Journal of Endodontics*. v.32, (1), pp.61-65, 2006.
- Shen, Y., Bian, Z., Cheung, G. S., Peng, B. Analysis of defects in ProTaper hand-operated instruments after clinical use. *Journal of Endodontics*. v.33, (3), pp.287-290, 2007.
- Stenman, E., Spangberg, L. S. W. Root canal instruments are poorly standardized. *Journal of Endodontics*. v.19, (7), pp.327-334, 1993.

- Sydney, G. B. K3 – A nova geração de instrumentos de níquel-titânio. *Jornal Brasileiro de Endodontia/Periodontia*. v.3, (8), pp.33-38, 2002.
- Tepel, J., et al. Properties of endodontic hand instruments used in rotary motion.part 1.cutting efficiency. *Journal of Endodontics*. v.23, (3), pp.141-145, 1997.
- Thompson, S. A. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *International Endodontic Journal*. v.33, pp.297-310, 2000
- Tripi, T.R., Bonaccorso, A., Condorelli, G. G. Cyclic fatigue of different nickel-titanium endodontic rotatory instruments. *Oral Surg. Med. Pathol. Radiol. Endodontics*. v.102, (4), pp.106-114, 2006.
- Tygesen, Y. A., et al. Comparison of distortion and separation utilizing Profile and Pow R nickel-titanium rotatory files. *Journal of Endodontics*. v.27, (12), pp.762-764, 2001.
- Ullmann, C. J., Peters, O. A. Effect of cyclic fatigue on static fracture loads in ProTaper nickel-titanium rotary instruments. v.31, (3), pp.183-186, 2005.
- Wei, X., et al. Modes of failure of ProTaper nickel-titanium rotary instruments after clinical use. *Journal of Endodontics*. v.33, (3), pp.276-279, 2007.
- Wolcott, J., Himel, V. T. Torsional properties of nickel-titanium versus stainless steel endodontic file. *Journal of Endodontic*. v.23, (4), pp.217-220, 1997
- Wolcott, S., et al. Separation incidence of protaper rotatory instruments: a large cohort clinical evaluation. *Journal of Endodontics*. v.33, (12), pp.1139-1141, 2006.
- Zinelis, S., Margelos, J. Failure mechanism of Hedstrom endodontic files in vivo. *Journal of Endodontics*. v.28, (6), pp.471-473, 2002.