

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ODONTOLOGIA  
GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA**

**Instrumentação endodôntica motorizada: uma revisão de literatura**

**EDUARDA CANDIÁ SAAD**

**JUIZ DE FORA  
2023**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ODONTOLOGIA  
GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA**

**Instrumentação endodôntica motorizada: uma revisão de literatura**

**EDUARDA CANDIÁ SAAD**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), como requisito parcial à obtenção de título de Cirurgiã-Dentista.

**Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Maria Inês da Cruz Campos**

**JUIZ DE FORA  
2023**

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Candiá Saad , Eduarda .

Instrumentação endodôntica motorizada: uma revisão de literatura / Eduarda Candiá Saad . -- 2023.  
51 f. : il.

Orientador: Maria Inês Da Cruz Campos

Coorientador: Celso Neiva Campos

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Odontologia, 2023.

1. Preparo do canal radicular . 2. Instrumentação rotatória . 3. Instrumentação automatizada do canal . 4. Endodontia . I. Da Cruz Campos, Maria Inês , orient. II. Neiva Campos, Celso, coorient. III. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
REITORIA - FACODONTO - Coordenação do Curso de Odontologia

**EDUARDA CANDIÁ SAAD**

**Instrumentação endodontia motorizada: uma revisão de literatura**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Cirurgião-Dentista.

Aprovado em 10 de março de 2023.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof.ª. Dr.ª. Maria Ines da Cruz Campos (orientadora)

Departamento de Morfologia – Instituto de Ciências Biológicas

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Celso Neiva Campos

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Antônio Marcio Resende do Carmo

Universidade Federal de Juiz de Fora

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar aos meus pais, Maralane de Almeida Candiá e Bruno Leite Saad, que me deram todo o suporte e apoio para que eu pudesse cursar odontologia e chegar nesta etapa final tão importante de minha vida. Agradeço meus avós Jamil Jorge Saad e Olga Leite Saad por serem inquestionáveis alicerces com os quais eu pude me sustentar e continuar nessa caminhada. Agradeço ao restante da minha família e em especial aos meus irmãos, Hugo Candiá Saad e Bruna Candiá Saad, que sempre estiveram presentes e dispostos a me ajudar.

Agradeço aos meus amigos, incluindo todos os que tive a oportunidade de conhecer durante a faculdade, em especial à minha dupla, Maysa Gaudereto Laurindo, e ao meu trio, Guilherme Lopes da Silveira e Luara da Silveira Roberto Almeida, por terem sido companheiros imprescindíveis, compartilhando todos os percalços e crescimentos advindos dessa jornada.

Agradeço à minha querida orientadora Maria Inês da Cruz Campos pela confiança de fazer parte desse trabalho e ao querido professor Celso Neiva Campos que sempre esteve de prontidão para me dar assistência da melhor forma possível na elaboração desse trabalho, sendo um exemplo de pessoa e profissional a ser seguido. Agradeço também a todos os demais professores da instituição que se mostraram excelentes e fundamentais no meu processo de aprendizagem pessoal e profissional.

## RESUMO

O tratamento endodôntico engloba o preparo do canal radicular como um passo essencial para o seu sucesso. Nele são feitas a remoção da polpa e dentina infectada e a conformação adequada do sistema de canais radiculares. Para o aperfeiçoamento do processo de preparo do canal radicular, sistemas de instrumentação motorizada foram criados e aprimorados com o passar do tempo. É importante que os cirurgiões dentistas saibam identificar as diferenças encontradas nestes sistemas de forma auxiliar em sua conduta clínica. Foi realizada uma revisão bibliográfica reunindo os sistemas, limas e motores mais utilizados na atualidade, expondo algumas de suas características mais relevantes, com objetivo de introduzir o cirurgião-dentista neste assunto e com isso, ajudar na escolha sobre qual sistema de instrumentação mecanizada ele utilizará. Artigos científicos publicados entre os anos de 2010 e 2022 sobre a temática foram acessados nas bases Pubmed e Portal de Periódicos CAPES. São variados os tipos de materiais e desenhos utilizados nas limas endodônticas, sendo essas diferenças determinantes nas propriedades dos sistemas de limas. As propriedades mecânicas podem ser influenciadas pelo tamanho, conicidade, dimensão da seção transversal e composição da liga do instrumento, além do tipo de anatomia do canal radicular encontrada. Avanços na flexibilidade e resistência à fadiga cíclica são perceptíveis, não excluindo riscos de fratura dos instrumentos.

**Palavras-chave:** Preparo do canal radicular. Instrumentação rotatória.

Instrumentação automatizada do canal. Endodontia.

## ABSTRACT

*Endodontic treatment encompasses root canal preparation as an essential step for its success. In it, the removal of infected pulp and dentin and the proper conformation of the root canal system are performed. In order to improve the root canal preparation process, motorized instrumentation systems have been developed and improved over time. It is important for dental surgeons to be able to identify the differences found in these systems in order to assist in their clinical conduct. A bibliographic review was carried out bringing together the systems, files and engines most used today, exposing some of their most relevant characteristics, with the objective of introducing the complicated dentist in this subject and with that, helping in the choice of which mechanized instrumentation system he will use. Scientific articles published between the years 2010 and 2022 on the subject were accessed in the Pubmed and Portal de Periódicos CAPES databases. The types of materials and designs used in endodontic files are varied, and these differences determine the properties of file systems. The mechanical properties can be influenced by the size, taper, cross-section dimension and alloy composition of the instrument, in addition to the type of root canal anatomy encountered. Advances in flexibility and resistance to cyclic fatigue are perceptible, leaving no risk of instrument fracture.*

**Keywords:** *Root Canal Preparation. Rotatory instrumentation. Automated root canal preparation. Endodontics.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - linha do tempo das ligas dos instrumentos .....	15
Figura 2 - Linha do tempo das cinemáticas dos instrumentos motorizados .....	23
Figura 3 - Esquema do movimento combinado, três opções predefinidas: 90°, 180° e 240° .....	25
Figura 4 - Rotary NiTi instruments: A) ProTaper Universal F2; B) TF adaptive; C) HyFlex EDM; D) Wave One Gold; E) Reciproc Blue .....	32
Figura 5 – A) Sistema ProTaper Next, B) Sistema ProTaper Gold, C) Sistema WaveOne Gold, D) Sistema TruNatomy. ....	38
Figura 6 – A) Sistema HyFlex para canais regulares, B) Sistema Hyflex para canais curvos, C) Sistema 2Shape.....	38
Figura 7 – A) Sistema RACE EVO, B) Sequência RACE EVO utilizada na maioria dos casos, C) Sistema R-Motion, D) Sequência R-Motion utilizada na maioria dos casos, E) Sistema XP – endo.....	39
Figura 8 – Sistema R-PILOT. B) Sistema RECIPROC blue.....	40

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

nm	Nanômetros
nº	Número
mm	Milímetros
$\mu\text{m}^2$	Micrômetros quadrados
min	Minutos
vol. por mm	Volume por milímetro
EDM	Técnica de usinagem por descarga elétrica
ISO	Organização Internacional para padronização
NCF	Número de ciclos até a fratura
HVN	Microdureza da dentina
SIM	Fase martensita induzida por tensão
MT	Transformação martensítica
RT	Transformação reversa
SME	Efeito de memória de forma
CM-WIRE	Memória controlada
CR	Movimento rotatório contínuo
CW	Sentido horário de movimento
AR	Movimento recíprocante alternado
CCW	Sentido anti-horário de movimento
RR	Movimento de reciprocidade rotativa
BT	Booster tip
SM	Sequência para canais pequenos
ML	Sequência para canais médios e grandes
CFR	Comprimento real do forame
GPa	Módulo de elasticidade

NiTi

TiNi 3

Liga de níquel-Titânio

Trinickel titânio

## LISTA DE SÍMBOLOS

±	Mais ou menos
%	Porcentagem
°C	Graus Célsius
/	Barra
#	Cerquilha (indicando calibre/número de broca ou lima)

## SUMÁRIO

	Pág.
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 PROPOSIÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>3 REVISÃO DISCUTIDA DA LITERATURA.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Construção dos instrumentos acionados a motor (ligas, usinagem, design) .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Propriedades das limas .....</b>	<b>15</b>
<b>3.3 Cinemática de trabalho (oscilatório, reciprocante, rotatório).....</b>	<b>22</b>
<b>3.4 Tipos de sistemas .....</b>	<b>26</b>
<b>3.5 Motores elétricos .....</b>	<b>40</b>
<b>3.6 Aplicações clínicas e seus benefícios .....</b>	<b>42</b>
<b>4 CONCLUSÃO .....</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O preparo do canal radicular é um passo fundamental no tratamento endodôntico. Caracteriza-se pela remoção do tecido pulpar e da dentina infectada, para que seja criado um acesso para irrigantes e colocação de medicamentos intracanal, bem como a realização de uma boa conformação do sistema de canais para a introdução de materiais de obturação do canal radicular. Para a otimização desse processo, foram introduzidos no mercado sistemas mecanizados de preparação, que foram se aperfeiçoando com o tempo (BHATIA et al., 2021).

Foram introduzidas várias melhorias nos instrumentos rotatórios de NiTi com foco na qualidade de corte e remoção de dentina, assim como na resistência à fratura dos instrumentos, principalmente quando utilizados em canais radiculares mais estreitos e curvos. O objetivo também foi simplificar a limpeza e modelagem do canal, reduzir o número de instrumentos usados e preservar a forma original dos canais radiculares preparados (KUZKANANI, 2018).

As mudanças encontradas no processo de evolução dos sistemas de instrumentação automatizada e as diferenças existentes entre eles englobam de forma geral o design do instrumento, o processo de fabricação e a cinemática utilizada. O tratamento térmico, para ajuste da temperatura de transição em liga de NiTi, e o movimento reciprocante foram uma inovação nos sistemas de níquel-titânio (NiTi) que influenciaram na flexibilidade, resistência à fadiga dos instrumentos e na incidência de fratura do instrumento (MARTINS et al., 2022).

Com toda essa evolução em um curto período de tempo, atualmente, encontra-se mais de 160 sistemas de instrumentação automatizados disponíveis, fabricados com diferentes ligas de NiTi e com diferentes designs de limas, tratadas termicamente ou não, com propriedades superelásticas (SE) e memória de forma (SME), usando cinética rotacional ou reciprocante, movimento cêntrico ou excêntrico (KUZKANANI, 2018).

Com isso, torna-se interessante o desenvolvimento deste trabalho, o qual tem como propósito realizar uma sintetização sobre os sistemas, limas e motores mais utilizados na atualidade, apresentando algumas de suas características mais relevantes, com o objetivo de auxiliar o cirurgião-dentista no momento de escolha

sobre qual sistema de instrumentação mecanizada utilizar em um determinado tratamento endodôntico.

## **2 PROPOSIÇÃO**

O objetivo deste trabalho é revisar a literatura sobre os sistemas, limas e motores mais utilizados na atualidade, expondo algumas de suas características mais relevantes, com objetivo de auxiliar o cirurgião-dentista no momento de escolha sobre qual sistema de instrumentação mecanizada utilizar num determinado tratamento endodôntico.

### **3 REVISÃO DE LITERATURA/ DISCUSSÃO**

Os sistemas de instrumentação mecanizada são utilizados há muito tempo na endodontia e suas diferenças estão fundamentadas na morfologia (seção transversal, conicidade e ângulo de hélice), bem como na composição química das ligas, no tratamento térmico e tipo de cinemática empregada. Estas características podem influenciar nas propriedades dos diferentes sistemas e com isso, na sua aplicação clínica.

#### **3.1 Construção dos instrumentos acionados a motor (ligas, usinagem, design)**

Como marco histórico, que estabeleceu o início da endodontia moderna, tem-se a introdução da liga Níquel-Titânio (NiTi) como o material para a fabricação de instrumentos rotatórios endodônticos. Foi proposto seu uso pela primeira vez, a partir da usinagem dos fios ortodônticos, em 1988 na publicação de Walia, Brantley e Gerstein do artigo intitulado “Uma investigação inicial das propriedades de flexão e torção das limas de canal radicular de Nitinol” (ZANZA et al., 2021). A liga de níquel-titânio já era utilizada na odontologia desde 1971 por An0dreasen e Hilleman na fabricação de fios ortodônticos, devido ao seu baixo módulo de elasticidade, efeito memória de forma e superflexibilidade (GAVINI et al., 2018).

Na prática clínica endodôntica, as ligas de níquel-titânio (NiTi) melhoraram o preparo mecânico do canal radicular, evitando problemas percebíveis aos instrumentos de aço inoxidável antes utilizados, como bordas, zips, perfurações e transporte do canal radicular (FERREIRA et al., 2016). A partir da introdução da liga NiTi foram surgindo avanços tecnológicos na produção dos instrumentos referentes ao processo de usinagem, com modificações da parte ativa, variações no ângulo helicoidal e ângulo de corte e variados aumentos de conicidade dentro de um mesmo instrumento, não mais obedecendo as normas ISO, estabelecidas em 1958 para instrumentos manuais (GAVINI et al., 2018).

De outra forma, além da usinagem, um método de produção diferente pode ser utilizado quando a parte ativa é confeccionada por torção; gera um sistema de limas com presença de menores defeitos e sem influência negativa em sua

superfície; um exemplo de sistema com essa configuração seria o Twisted File Adapative (BHATIA et al., 2021).

Além das alterações de conicidade e do desenho da seção transversal ao longo do comprimento das lâminas de corte, novas ligas ou tratamentos termomecânicos foram introduzidos no processo de aprimoramento desses instrumentos com o intuito de otimizar sua microestrutura e comportamento de transformação e com isso, suas propriedades mecânicas. M-Wire (Dentsply Maillefer), CM Wire (Coltène, Allstetten, Suíça), MaxWire (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Suíça), FireWire (EdgeEndo, Johnson City, TN, EUA), R-phase fio (SybronEndo, Orange, CA, EUA), ou tratamentos térmicos Gold e Blue (Dentsply Maillefer) são exemplos de ligas ou tratamentos térmicos existentes hoje com a tecnologia de tratamento termomecânico (MARTINS, 2022). O sistema ProTaper Gold (PTG) tratado termicamente e o ProTaper Universal (PTU) convencional estão entre os sistemas mecânicos de preparação de canais radiculares mais usados em endodontia (FERREIRA et al., 2016).

Na tecnologia blue e gold, criados pela Dentsply Sirona em 2012, os instrumentos são repetidamente tratados termicamente e depois resfriados, formando uma cor de superfície correspondente à espessura da camada de óxido de titânio. Na liga NiTi Blue Wire, a espessura da camada de óxido de titânio é de 60-80 nm, e na liga NiTi Gold, a espessura é de 100-140 nm (HAMDY et al., 2019). No tratamento térmico para liga de ouro, a liga superelástica de NiTi é exposta a um tratamento térmico especial sob tensão constante em uma faixa de 3-15 kg em uma faixa de temperatura de 410°C-440°C. O instrumento acabado após a usinagem é submetido a um tratamento térmico adicional em uma faixa de 120°C-260°C (HAMDY et al., 2019).

Vale citar também a técnica de usinagem por descarga elétrica (EDM), a qual é um processo de erosão térmica sem contato via processo de usinagem de descargas elétricas controladas. Nesta técnica, faíscas elétricas causam uma fusão local e uma evaporação parcial de pequenas partes de metais formando um acabamento superficial típico de cratera no material. Posteriormente, antes ou após o processo de limpeza, o instrumento é tratado termicamente a uma temperatura de 300 a 600°C por 10 min-5 horas (HAMDY et al., 2019). Abaixo podemos ver a linha do tempo das ligas dos instrumentos que foram sendo criadas com o passar do tempo.

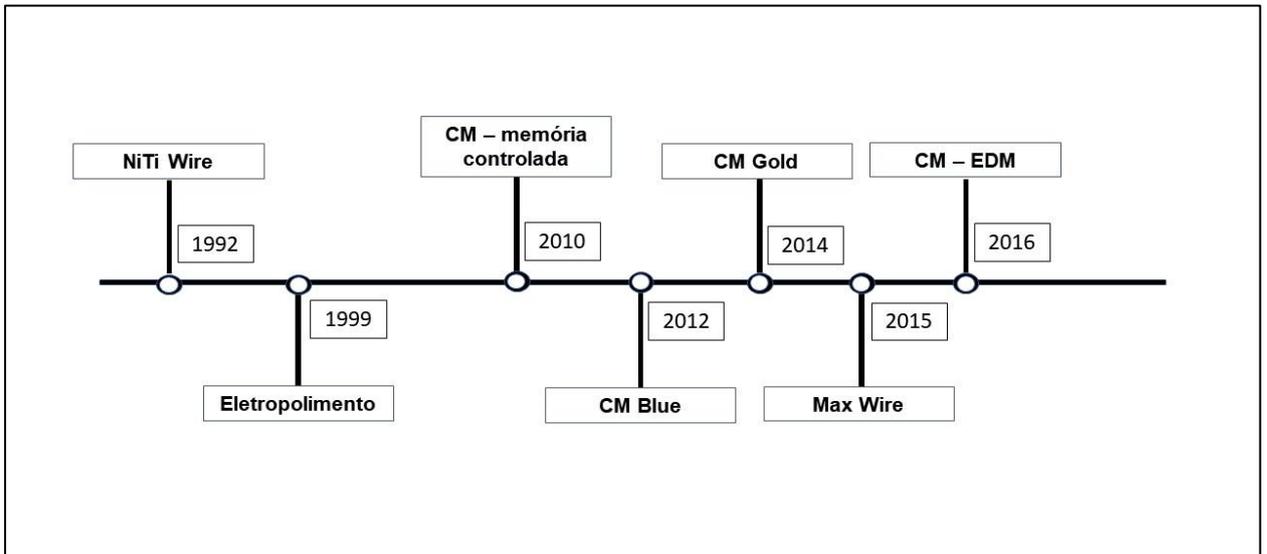


Figura 1 – Linha do tempo das ligas dos instrumentos.

Fonte: elaborada pelo autor (2023) com base em Gavini et al., 2018.

### 3.2 Propriedades das limas

São variados os fatores intrínsecos do instrumento que podem acarretar em diferentes propriedades mecânicas dos instrumentos, como dimensão da seção transversal, tamanho, conicidade e composição da liga, que se somam ao tipo da anatomia do canal, ao tratamento térmico e aos procedimentos de instrumentação (velocidade e movimento) utilizados (BHATIA et al., 2021). Para que a liga de NiTi seja considerada adequada para o tratamento endodôntico e tenha sucesso nele, propriedades biológicas e mecânicas, como biocompatibilidade, resistência à corrosão, efeito de memória de forma e superelasticidade, devem ser atendidas. Além disso, a habilidade de modelagem engloba a capacidade de centralização, transporte do canal, diferença de volume antes e depois e a razão entre a área de dentina tocada e intocada (ZANZA et al., 2021).

O estresse mecânico das limas de NiTi está relacionado à curvatura do canal radicular e à dureza da dentina, bem como à fadiga cíclica e ao torque do motor utilizado durante o preparo do canal radicular (KUZEKANANI, 2018). As duas principais causas de separação intracanal de instrumentos endodônticos de NiTi são fadiga cíclica e tensões de torção (ZANZA et al., 2021). A resistência à torção

consiste na capacidade que o instrumento tem de torcer antes que ocorra a fratura, característica essencial quando na exposição de altas cargas de torção durante o preparo de canais estreitos e curvos (MARTINS et al., 2022).

A distribuição uniforme das tensões ao longo do instrumento é fundamental para uma rigidez torcional adequada. É nesse sentido que o desenho da seção transversal é um dos fatores mais importantes; quanto mais a massa e a área estiverem afastadas do centro do pivô, maior será o momento polar de inércia e maior será a resistência à torção. Além disso, a constrição da cavidade de acesso poderia gerar uma curvatura coronal aos instrumentos de NiTi, o que aumenta o momento fletor e conseqüentemente a resistência à torção dos instrumentos de NiTi (ZUPANC, VAHDA-PAJOUH & SHEPHERD, 2018).

O acúmulo de fadiga cíclica ocorre em decorrência dos ciclos de tensão-compressão gerados no ponto de máxima curvatura do canal. Quanto maior o ângulo de curvatura e menor o raio de curvatura, maiores tensões de flexão serão formadas ao instrumento, reduzindo sua capacidade de resistir à fadiga cíclica (ZANZA et al., 2021). Nesse sentido, a introdução dos instrumentos endodônticos de forma mais angulada em uma cavidade de acesso conservadora pode diminuir sua resistência à fadiga cíclica pelo aumento do estresse de flexão advindo de sua angulação de inserção. Instrumentos com massa metálica ou o volume por milímetros (vol. por mm) semelhantes, no ponto de tensão máxima, apresentam resistência à fadiga cíclica semelhante (ZUPANC, VAHDA-PAJOUH & SHEPHERD, 2018).

A vida cíclica total dos instrumentos endodônticos de NiTi pode ser composta por duas etapas: uma iniciando com microtrincas, que começam a crescer ao longo de planos cristalográficos específicos, e outra seguida pela propagação da trinca até a fratura final. A resistência à fadiga cíclica é, em geral, medida pelo tempo até a fratura ocorrer ou pelo número de ciclos até a fratura (NCF). Temperatura intracanal aumentada em relação à ambiente diminui consideravelmente a resistência à fadiga cíclica. Além disso, instrumentos com pequena conicidade têm maior resistência à fadiga cíclica, já que a amplitude da deformação de tração na superfície de um instrumento aumenta com o seu diâmetro. Da mesma forma, movimentos alternados e a redução da velocidade rotacional do instrumento aumentam o tempo antes da fratura em decorrência do menor número de ciclos existentes em um mesmo período de tempo, quando comparados a velocidades mais altas. Um diâmetro menor

aumenta a fadiga cíclica e reduz a resistência à torção dos instrumentos rotatórios de NiTi (ZUPANC, VAHDA-PAJOUH & SHEPHERD, 2018).

A força gerada para dobrar o instrumento é registrada como a resistência à flexão, dessa forma, baixos resultados de flexão conferem alta flexibilidade ao material; de acordo com o teste de flexão avaliado pela ISO 3630-1, a flexibilidade de um instrumento endodôntico é avaliada prendendo 3 mm de sua ponta em um mandril e aplicando uma deflexão angular de 45°. Além disso, vale ressaltar que uma microdureza superficial superior pode gerar uma eficácia de corte superior, sabendo que a microdureza da dentina é em torno de 67 HVN apenas (MARTINS, et al. 2022).

É sabido que o menor diâmetro do instrumento aumenta a sua fadiga cíclica, porém, reduz a resistência à torção dos instrumentos rotatórios de NiTi. (VELOZO et al., 2020). Os lados planos das limas endodônticas reduzem o diâmetro e a área da seção transversal, tornando a lima endodôntica mais fina e flexível para explorar canais curvos. No estudo de Hamdy et al. (2019), os sistemas TF adaptive, HyFlex EDM e Wave One Gold apresentaram significativamente maior flexibilidade quando comparados aos sistemas Protaper F2 e Reciproc Blue ( $p < 0,05$ ). A seção transversal em forma de S do Reciproc Blue e o triângulo convexo do Protaper Universal F2 com seus lados não planos podem fornecer uma área de seção transversal volumosa que diminui sua flexibilidade. Em contrapartida, os lados planos do TF adaptive, HyFlex EDM e Wave One Gold com seus designs transversais triangular, retangular e paralelogramo, respectivamente, podem explicar o aumento de sua flexibilidade. Além disso, o aumento da rigidez das limas de Protaper F2 e Reciproc Blue está ligado ao aumento de carbono na superfície e a mais precipitações de carbonetos decorrentes disso.

Sabe-se que nenhum instrumento é capaz de preparar completamente todas as paredes do canal radicular. É relatado uma faixa de 2,6% a 80% de paredes intocadas após a preparação mecânica de canais radiculares, podendo essa grande variação estar associada a diferenças morfológicas do dente, ao tipo de instrumentos utilizados e ao método de avaliação usado. Apesar da grande flexibilidade do sistema XP-endo Shaper, devido seu formato de seção em S e tratamento térmico e capacidade de se contrair e expandir dentro do canal radicular, conforme declarado pelo fabricante, não foi possível alcançar áreas que outros instrumentos não poderiam acessar (VELOZO et al., 2020).

Segundo Grande et al. (2006), a massa metálica no nível máximo de tensão afeta a vida em fadiga das limas rotatórias de NiTi. Tal afirmação está em acordo com os achados de Ozyurek et al. (2018); descobriram que a área transversal horizontal das limas WOG Glider no ponto de tensão máxima, ao examinar a área de superfície fraturada, era maior do que a das limas R-Pilot, o que pode explicar a maior resistência à fadiga registrada para os instrumentos R-Pilot. Além disso, Uslu et al. (2018) concluíram que a resistência à fadiga cíclica das limas R-Pilot foi significativamente maior do que a dos instrumentos HyFlex EDM e PathFile, o que para os autores pode ser explicado pela presença do movimento alternativo em que os instrumentos R-pilot são utilizados, e não do movimento rotativo contínuo dos instrumentos HyFlex EDM e PathFile.

Entretanto, foi constatado por Topcuoglu et al. (2018) que os instrumentos WaveOne Gold Glider foram mais resistentes à falha por fadiga do que as limas R-Pilot em um canal artificial com um ângulo de curvatura de 60°, o que pode estar associada à memória de forma reduzida da lima WaveOne Gold Glider, já que, à medida que o raio de curvatura diminui, a tensão e a deformação do instrumento aumentam e a resistência à fadiga cíclica diminui. Além disso, no estudo foram capturadas imagens dos instrumentos a 5 mm da ponta, revelando que a lima R-PILOT tinha uma área maior (cerca de 68950,51  $\mu\text{m}^2$ ) em comparação com a WaveOne Gold Glider (cerca de 46383,04  $\mu\text{m}^2$ ), sugerindo que as limas com maior área de seção transversal têm menor resistência à fadiga cíclica do que as limas com diâmetro menor Yao et al. (2006).

Segundo Martins et al. (2022), as diferenças no acabamento da superfície e nas temperaturas de transformação tiveram maior peso no desempenho mecânico geral dos instrumentos. Super Files Blue superou PTG no teste de fadiga cíclica, EdgeTaper Platinum e Premium Taper Gold apresentaram maior flexibilidade. Por outro lado, a maioria dos sistemas apresentou torque à fratura semelhante ao PTG, menos Premium Taper Gold e Go-Taper Flex que apresentaram resultados inferiores.

A mudança nas temperaturas de transformação da liga de NiTi utilizada, a partir do tratamento térmico e mecânico ou da variação na sua composição, é o jeito empregado pelos fabricantes de modificarem a composição das fases e, com isso, as propriedades mecânicas da liga de NiTi existentes nos diferentes sistemas de instrumentação mecanizada (ZUPANC, VAHDA-PAJOUH & SHEPHERD, 2018).

A capacidade de alguns materiais de recuperarem sua forma original após a remoção de uma carga, mesmo quando são deformados além de sua resistência ao escoamento é denominada de superflexibilidade, ou pseudoelasticidade. (GAVINI et al., 2018). Com a criação de uma fase induzida por tensão, chamada de martensita induzida por tensão (SIM), as ligas de níquel-titânio podem ser deformadas até 8% além de seu limite de escoamento e não apresentar deformação residual. No entanto, quando a carga é removida, o novo SIM torna-se instável e o NiTi recupera sua forma original (ZANZA et al., 2021).

As propriedades especiais das ligas de NiTi estão associadas a uma mudança de fase no estado sólido: a transformação martensítica (MT), que ocorre entre a austenita (a fase mãe) e a martensita. A partir da aplicação de uma tensão ou da redução de temperatura, os átomos se movem coordenadamente por um mecanismo do tipo cisalhamento e são rearranjados em uma nova estrutura cristalina mais estável, sem que haja, então, alteração na composição química da matriz. Se o material for aquecido enquanto estiver na fase martensítica, ocorre a transformação reversa (RT), na qual a martensita retorna à fase austenita. (GAVINI, et al., 2018). A capacidade então dos instrumentos de NiTi “memorizarem” uma determinada forma e de retornarem à sua forma original quando aquecidos acima da temperatura de transformação de martensita para austenita (variável de acordo com a composição química da liga) é denominada como efeito memória de forma (SME) (ZANZA et al., 2021).

Clinicamente, esses instrumentos podem ser pré-curvados e manter essa forma flexionada capaz de penetrar no canal radicular de forma mais fácil. A pré-curvatura dos instrumentos manuais de aço inoxidável impedem que eles se movimentem de forma rotacional dentro dos canais radiculares curvos. (KUZKANANI, 2018) O níquel-titânio, além de apresentar superelasticidade (SE) e o SME, possui a melhor biocompatibilidade e resistência à corrosão, devido ao seu revestimento superficial de óxido de titânio (GAVINI, et al., 2018).

Na fase austenítica a liga NiTi apresenta uma estrutura cristalina com uma rede cúbica de corpo centrado e estável a altas temperaturas, o qual é capaz de conferir rigidez (alto módulo de elasticidade) e superelasticidade, porém com plasticidade muito baixa. Já na fase martensítica geminada, a liga apresenta uma rede hexagonal muito compacta, a qual confere maior flexibilidade, resistência à fadiga cíclica, maciez e ductilidade, e exibe o efeito de memória de forma como já foi

dito. A fase R intermediária é um híbrido entre as duas fases já descritas, não tendo uma conformação cristalina precisa; nela há a possibilidade de seus átomos se moverem entre as redes cristalinas adjacentes e oscilarem entre as formas austenítica e martensítica (ZANZA et al., 2021). A martensita possui um módulo de elasticidade mais baixo (cerca de 30-40 GPa) do que a austenita (cerca de 80-90 GPa), e o módulo de elasticidade da fase R é ainda menor que o da martensita (ZUPANC, VAHDA-PAJOUH & SHEPHERD, 2018).

O tratamento térmico da liga de NiTi conhecida como M-Wire, desenvolvida pela Tulsa Dental em 2007, é realizado antes da usinagem dos instrumentos e tem como material de partida uma composição de Nitinol que consiste em  $55,8 \pm 1,5\%$  em peso de níquel (Ni),  $44,2 \pm 1,5\%$  em peso de titânio (Ti) e oligoelementos inferiores a 1% em peso; contém fase austenita com pequenas quantidades de martensita e fase R à temperatura corporal) (ZUPANC, 2018). Já a MaxWire é a primeira liga endodôntica de NiTi que combina efeito de memória de forma e superelasticidade na aplicação clínica. À temperatura ambiente, esses instrumentos mudam para uma forma curva quando expostos à temperatura intracanal devido a uma transformação de fase para fase A (estado austenítico) (ZUPANC, VAHDA-PAJOUH & SHEPHERD, 2018).

Em ligas ricas em Ni, é possível controlar a temperatura de transformação variando o teor de Ni. Precipitados de Ni e Ti podem afetar as características da transformação martensítica e atuar como centros de nucleação para formação da fase R. Os precipitados finos são capazes de mudar o processo MT de austenita-martensita para austenita-R-martensita e com isso, é capaz de manter a pseudoelasticidade e em comparação com instrumentos fabricados com ligas convencionais de NiTi, possuir maior resistência à fadiga cíclica e propriedades mecânicas aprimoradas. (GAVINI et al., 2018). Possuem adequada superelasticidade e menor rigidez quando comparados as ligas austeníticas, e com isso, maior flexibilidade e podem ser torcidos como as limas TF Adaptive (TFA; SybronEndo, Orange, CA, USA) (HAMDY et al., 2019). Os sistemas ProFile Vortex e ProTaper Next também são exemplares dessa tecnologia.

Em 2010, foram fabricados pela DS Dental (Johnson City, TN, EUA) instrumentos com a tecnologia de tratamento térmico CM-Wire (memória controlada). Devido a uma composição de fase modificada após a usinagem do Nitinol SE508, a liga adquire controle sobre o efeito de memória de forma,

permitindo que os instrumentos sejam pré-curvados, devido à maior resistência à fadiga cíclica e flexibilidade, o que possibilita um preparo do canal mais centrado e menores taxas de transporte. A tensão crítica para induzir a reorientação da martensita (geminado para martensita deformada) em instrumentos martensíticos é muito menor do que a tensão crítica para induzir a transformação SIM (austenita para martensita deformada) em instrumentos austeníticos, o que confere maior flexibilidade aos instrumentos CM Wire quando comparado aos instrumentos M-Wire e NiTi convencionais (ZUPANC, VAHDA-PAJOUH & SHEPHERD, 2018). O instrumento retorna à sua fase original após a esterilização do instrumento e pode ser reutilizado até que ocorra a deformação invertida, na qual deve ser descartado. Além disso, esses instrumentos contêm menos níquel (52%) quando comparado as ligas SE convencionais (54% a 57%), contribuindo também para a melhoria nas propriedades mecânicas da liga (GAVINI et al., 2018). O sistema Hyflex CM é um exemplar dessa tecnologia.

A técnica de usinagem por descarga elétrica (EDM), presente no sistema Hyflex EDM, é um processo de erosão térmica sem contato via processo de usinagem de descargas elétricas controladas. O processo de EDM, sendo sem contato, deve evitar a falha precoce do material que pode ocorrer a partir de técnicas convencionais de retificação (HAMDY et al., 2019).

A Dentsply Sirona em 2012 incluiu um novo processo de tratamento térmico para ligas NiTi CM, no qual as ligas NiTi Blue Wire e NiTi Gold foram formadas. Os sistemas Vortex Blue (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça), X1 Blue File (MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil), Reciproc Blue (VDW), ProTaper Gold (Dentsply Sirona) e WaveOne Gold são fabricados com essa tecnologia (GAVINI et al., 2018). As limas tratadas termicamente Gold e Blue apresentam maior flexibilidade e resistência à fadiga quando comparadas com instrumentos convencionais de NiTi e M-Wire, o que pode ser advindo do seu estado martensítico (ZUPANC, VAHDA-PAJOUH & SHEPHERD, 2018).

Enquanto os instrumentos M-Wire e R-phase mantêm um estado austenítico, o CM Wire, junto aos instrumentos tratados com tecnologia Gold e Blue, são compostos de quantidades substanciais de martensita. Os instrumentos austeníticos possuem propriedades superelásticas e altos valores de torque na fratura, sendo indicados para preparo de canais radiculares retos ou pouco curvos; podem compensar a diminuição da resistência ao torque em instrumentos de *path finding*

que possuem menor diâmetro. (ZUPANC, VAHDA-PAJOUH & SHEPHERD, 2018). Já os instrumentos martensíticos são mais flexíveis com uma maior resistência à fadiga cíclica e possuem um maior ângulo de rotação, porém possuem menor torque na fratura. Dessa forma, é recomendado o seu uso em canais com curvaturas mais acentuadas ou com dupla curvatura, já que são situações em que, mais provavelmente, será observada a fadiga cíclica. Além disso, os instrumentos martensíticos são pré-dobráveis, o que pode ser útil ao tentar contornar as bordas (ZUPANC, VAHDA-PAJOUH & SHEPHERD, 2018).

### **3.3 Cinemática de trabalho (oscilatório, recíprocante, rotatório)**

Os tipos de cinemática podem ser englobados entre o rotatório contínuo (CR), no qual os instrumentos realizam uma volta completa ( $360^\circ$ ) de forma contínua para um sentido, em geral CW (sentido horário); a recíprocante alternada (AR), na qual os dois ângulos recíprocos de rotação são iguais ( $CW = CCW$ ), em geral menores que  $90^\circ$ , não resultando em uma volta completa; a recíprocante rotativa (RR), na qual os ângulos de rotação são diferentes ( $CW > CCW$  ou  $CCW > CW$ ), gerando vários ciclos que resultam no giro do instrumento dentro do canal; e os movimentos combinados, caracterizados pela combinação de dois dos movimentos descritos acima. Esses últimos são gerados automaticamente pelo motor e, em sua maioria, não são ajustáveis pelo cirurgião dentista. Como exemplo, da combinação do movimento rotatório contínuo com o recíprocante rotativo tem-se o sistema TF Adaptive e Optimum Torque Reverse (OTR) e da combinação do movimento recíprocante alternativo junto ao recíprocante rotativo, o sistema Optimum Glide Path (OGP) (GAMBARINI et al., 2018). Abaixo é colocada a linha do tempo da cinemática de trabalho que será melhor explicada mais adiante.

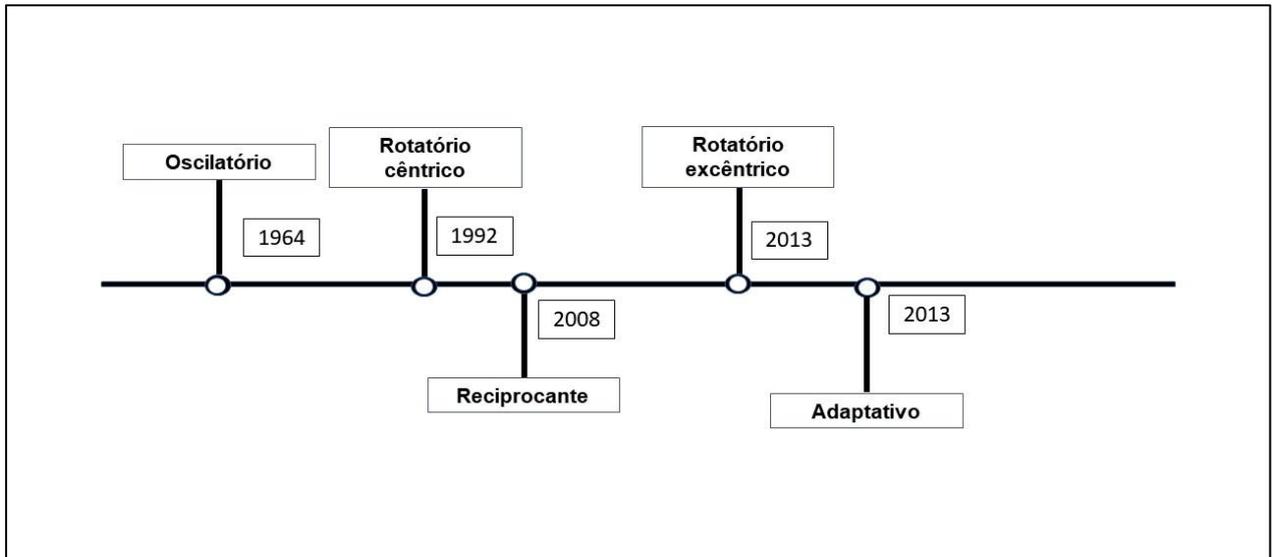


Figura 2: Linha do tempo das cinemáticas dos instrumentos motorizados

Fonte: Elaborada pelo autor (2023) com base em Gavini et al., 2018.

A reciprocidade é caracterizada como qualquer movimento repetitivo para frente e para trás ou para cima e para baixo; foi uma técnica introduzida pela primeira vez no final da década de 1950 por um dentista francês chamado Blanc. Em vez de rotação completa, os instrumentos rotatórios NiTi alternativos adquiriram movimentos com os graus de rotação no sentido horário e anti-horário (KUZEKANANI, 2018). Nele, o instrumento gira em uma direção e depois troca a direção antes de completar um ciclo de rotação completo (FERREIRA et al., 2016).

A peça de mão original Giromatic (Micro-Mega, Besançon, França) e o motor M4 (SybronEndo, Orange, CA, EUA) tinham os mesmos ângulos CW (horário) e CCW (anti-horário), já o motor Tecnika (ATR, Pistoia, Itália), utilizado por Yared, possui um movimento com um ângulo CW cerca de duas vezes maior que o ângulo CCW. Os sistemas alternativos Reciproc (VDW GmbH, Munique, Alemanha) e WaveOne (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça), mais utilizados no mercado, não possuem seus movimentos e ângulos expostos pelos fabricantes (FERREIRA et al. 2016).

Vários estudos concluíram que o movimento alternativo produz menor tensão de tração e compressão na região flexionada do instrumento, garantindo maior resistência à fadiga quando comparado ao movimento rotatório contínuo. Vale destacar que, por gerarem o menor estresse, o movimento alternativo permite que seja possível pelos dentistas o uso de apenas um único instrumento de NiTi como

forma de preparo de todo o canal radicular. Da mesma forma, o movimento reciprocante apresenta várias possibilidades de movimentos e ângulos, os quais podem influenciar de diferentes maneiras o desempenho e a resistência a falhas dos instrumentos (FERREIRA et al.2016).

Usando canais curvos construídos em aço inoxidável com ângulo de curvatura de 45° e raio de 5 mm curvatura, da Frota et al. (2014) compararam as resistências à fadiga cíclica dos sistemas WaveOne e Reciproc (alternativos de lima única) com os sistemas ProTaper Universal e Mtwo (de rotação contínua) e concluíram que a resistência à fadiga cíclica foi maior para sistemas alternativos quando comparados aos sistemas rotativos contínuos, independente do deslocamento axial (FERREIRA, 2021).0

Os sistemas Reciproc (VDW) e WaveOne (Dentsply Sirona), fabricados em liga M-Wire, atuam em movimento alternativo cêntrico. Giram no sentido anti-horário (Reciproc 150°, Wave One 170°) para cortar a dentina, e no sentido horário (Reciproc 30°, WaveOne 50°) para retirá-la, evitando assim, o efeito de aparafusamento. (GAVINI, 2018). Após três ciclos completos de movimento WaveOne e Reciproc, a lima completa uma rotação de 360° no sentido anti-horário, configurando um movimento de reciprocidade rotativa (RR). O motor, para os dois sistemas, não permite nenhuma mudança de ângulo pelo operador (GAMBARINI et al. 2018).

Como exemplo de movimento combinado, tem-se o sistema Optimum Torque Reverse (OTR) lançado por J. Morita (Kyoto, Japão) em 2015 com o objetivo de melhorar a segurança limitando o torque do sistema. Abaixo de um valor de torque predeterminado, ele adquire a rotação contínua no sentido horário e quando os valores do torque são excedidos, o instrumento inicia o movimento RR com ângulos de 180° CW e 90° CCW. Com o motor TriAuto ZX2 (J. Morita, Kyoto, Japão), podendo ser utilizado para o OTR, contém um segundo ângulo para o OTR, além de uma combinação de AR e RR para o sistema Optimum Glide Path (OGP), no qual inicia-se com um movimento alternado (com ângulos de movimento semelhantes), seguido de um movimento reciprocante rotativo (com ângulo CCW maior que o CW) (GAMBARINI et al., 2018).

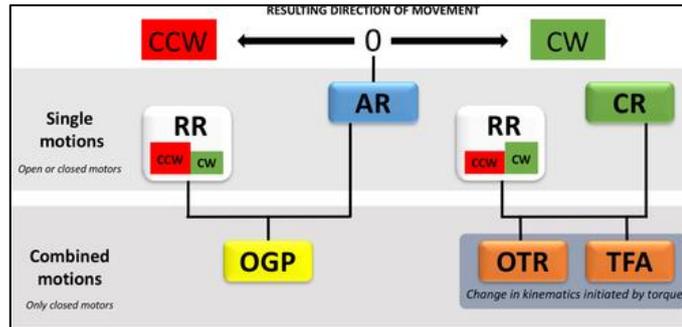


Figura 3 - Esquema do movimento combinado, três opções predefinidas: 90°, 180° e 240°.  
Fonte: Gambarini et al., 2018.

Da mesma forma, o instrumento Twisted File Adaptive possui o movimento combinado, sendo capaz de detectar o torque dentro do motor e alterar seu movimento. No movimento alternativo, o instrumento é girado até 370° no sentido horário e 50° no sentido anti-horário, o que permite que o instrumento progrida no canal radicular pelo sentido horário e reduza o risco de fratura do sentido oposto. (BHATIA, et al. 2021).

Vale ressaltar que alguns sistemas são capazes de girar de forma excêntrica ou assimétrica (com eixo de rotação descentralizado) devido às características anatômicas de seus instrumentos (GAVINI et al., 2018). É produzida uma onda mecânica, em todo o comprimento da lima, a qual é capaz de melhorar o corte e a remoção de detritos, reduzindo o efeito de aparafusamento que pode levar à separação do instrumento (KUZEKANANI, 2018).

Sabe-se, por vários estudos recentes, que grande parte das paredes do canal radicular nunca são tocadas durante o preparo, mesmo com a utilização de instrumentos rotatórios cênicos ou alternativos (KUZEKANANI, 2018). Os instrumentos tendem a permanecer no centro do canal desfavorecendo o preparo adequado da dimensão vestibulo-lingual. Em canais ovais, bastante incidentes nos caninos inferiores, algumas áreas do canal radicular permanecem intocadas, gerando acúmulo de detritos e micro-organismos (XAVIER et al., 2021).

Em contrapartida, o movimento rotatório excêntrico mais recentemente criado, por produzir pontos de contato mais equilibrados com a dentina radicular, contribui para o maior contato com as paredes do canal, além de garantir maior resistência à fadiga cíclica do instrumento (KUZEKANANI, 2018) O sistema ProTaper Next, com sua seção transversal retangular assimétrica, o XP-endo Shaper, que se expande

além do tamanho de seu núcleo em temperaturas iguais ou superiores a 35°C, e o TruNatomy, são exemplos dessa tecnologia (GAVINI et al., 2018).

Vale ressaltar que a alteração dos ângulos dos movimentos interfere diretamente na fadiga cíclica e na resistência à torção dos instrumentos. A distribuição da tensão relaciona-se ao ângulo rotacional e ao incremento angular após cada ciclo, sendo os ângulos muito pequenos (6°CW e 1°CCW) mais eficazes contra o risco de separação intracanal (GAMBARINI et al., 2018).

### **3.4 Tipos de sistemas**

Como um panorama geral de criação, os sistemas foram divididos em 5 gerações. A partir da década de 1990, foi sendo introduzida a primeira geração de instrumentos rotatórios de NiTi, sendo caracterizada pela presença de cortes radiais passivos e cones fixos de 0,04–0,06 em todo o comprimento de trabalho, necessitando de um número considerável de limas para o seu funcionamento. A partir de 2001, teve início a segunda geração de limas rotativas de NiTi, as quais adquiriram arestas de corte ativas com maior eficiência de corte. Já na terceira geração, propriedades metalúrgicas da liga de NiTi tiveram maior enfoque a partir dos procedimentos de aquecimento e resfriamento. A introdução do movimento reciprocante levou ao desenvolvimento da quarta geração e na quinta geração, foi introduzido o deslocamento do centro de rotação (KUZEKANANI, 2018).

O sistema Quantec, sistema rotatório composto por 10 limas de diferentes tamanhos, diâmetros e conicidades, evoluiu para o sistema K3, incorporando um design de seção transversal exclusivo deste sistema: com três canais de corte, um ângulo de saída positivo e aterragens radiais assimétricas, adquirindo uma boa capacidade de corte. Por sua vez, o sistema K3 evoluiu para o sistema K3XF (Sybron Endo), com a adição do tratamento térmico em Fase R, lhe conferindo melhores propriedades mecânicas, além de possuir passo variável que se torna mais profundo à medida que o diâmetro da lima aumenta da ponta até a extremidade da parte ativa, o que reduz a massa do instrumento em áreas de maior diâmetro, reduzindo a rigidez (ELNAGHY, EISAKA & MANDORAH, 2020).

Em 2001 foi criado o sistema ProTaper (Dentsply Sirona, York, PA, EUA); nele os instrumentos adquiriram conicidades variadas e progressivas ao longo de

suas arestas de corte o que, junto de uma seção transversal triangular convexa, permitiu a redução do contato da lima com as paredes de dentina e, com isso, o estresse no instrumento. Posteriormente, em 2006, foi criado o sistema ProTaper Universal a partir da modificação da seção transversal de alguns dos instrumentos e do acréscimo de limas de preparo apical. Já em 2013, surgiu o sistema rotatório ProTaper NEXT, como sucessor do ProTaper Universal; foi incluída a liga M-Wire e seção transversal quadrilinear, com deslocamento, ao instrumento, dando-lhe um movimento rotativo excêntrico. Segundo o fabricante a rotação do instrumento com seção transversal descentralizada garante maior espaço para remoção de debris e, devido ao seu “efeito ondulatório”, a anatomia do canal é melhor preservada (ELNAGHY, EISAKA & MANODORAH, 2020).

O sistema ProFile Vortex (Dentsply Sirona, York, PA, EUA), também é feito de liga M-Wire; é dito pelo fabricante que o sistema pode ser operado em até 500rpm e que junto a sua geometria, a sua velocidade aumentada de trabalho, melhora a eficiência de corte de seus instrumentos (ELNAGHY, EISAKA & MANODORAH, 2020).

O sistema RaCe apresenta instrumentos eletropolidos fabricados a partir de uma liga de NiTi convencional. O eletropolimento, introduzido pela FKG em 1999, teve o objetivo de aumentar a eficiência de corte e a resistência a fadiga, e, por possuírem seção transversal triangular e arestas cortantes dispostas alternadamente em relação ao eixo do instrumento, nas direções longitudinal e oblíqua, são capazes, de acordo com o fabricante, de reduzir a velocidade de alimentação e o efeito de rosca dentro do canal radicular. Tem sido relatado que a resistência à fadiga dos instrumentos de NiTi em canais de dupla curvatura foi menor do que em canais de curvatura simples (ELNAGHY, EISAKA & MANODORAH, 2020). O sistema Race (FKG, La Chaux-de-Fonds, Suíça) é disponível mundialmente com diversas variações e sequências clínicas. Tem a capacidade de realizar um preparo do canal mais biológico, com diâmetros apicais maiores, facilitando o escoamento do irrigante químico e a redução microbiana (GAVINI et al., 2018).

Mais adiante, os instrumentos BT-RaCe, foram criados como uma nova geração do sistema Race. Segundo o fabricante, esses instrumentos têm facilidade de progressão apical e manutenção de sua curvatura original por possuírem um “*booster tip*” (BT) especial não cortante de até 0,17mm de comprimento com seis arestas cortantes e diâmetro reduzido. Há três instrumentos sequenciais que podem

ser utilizados: BT-1 (#10/.06), BT-2 (#35/.00) e BT-3 (#35/.04) e dois instrumentos adicionais para maior alargamento do diâmetro apical (GAVINI, et al. 2018).

O sistema RACE EVO de rotação contínua (FKG, La Chaux-de-Fonds, Suíça) é a evolução mais recente do sistema RaCe. O fabricante afirma ser um sistema com recursos RaCe originais, que combinados com tratamento térmico patenteado, fornece excelente resistência à fadiga cíclica, eficiência de corte otimizada, mas não intrusiva, e baixo efeito de aparafusamento. O tratamento térmico patenteado fornece propriedades mecânicas adequadas, que por sua vez permitiram maior velocidade de rotação, para um tratamento mais rápido. O RACE EVO possui duas sequências principais: Race evo 4% sequence e RACE EVO 6% sequence, compostos por um instrumento de glide path e dois instrumentos de preparo ([www.fkg.ch](http://www.fkg.ch)).

O sistema recíprocante R-Motion, também da FKG, de acordo com o seu fabricante, apresenta uma tecnologia minimamente invasiva, que não compromete seu desempenho, combinando eficiência de corte, devido a sua seção transversal arredondada com arestas de corte afiladas e uma nova ponta de lima otimizada (patente pendente), flexibilidade (cerca de 3,3 vezes mais) e resistência à fadiga cíclica (cerca de 3,6 vezes mais), devido seu tratamento térmico que o confere uma cor azul. Tem um design exclusivo e tamanho de núcleo mais fino capaz de reduzir o estresse na dentina de forma a respeitar a anatomia do canal. O fabricante também afirma que o sistema R-Motion possui menos 60% de transporte quando comparado aos sistemas NiTi de tecnologia recíprocante Standart, melhor centragem e até menos 40% de desgaste dentinário quando comparado a sistemas equivalentes concorrentes ([www.fkg.ch](http://www.fkg.ch)).

No sistema One Shape da MicroMega (Besançon Cedex, França), lançado em 2011, o preparo de canal é de lima única com movimento rotativo centralizado. No instrumento, existem três ângulos de corte entre a ponta do instrumento e 2mm de seu comprimento; do meio o instrumento adquire dois ângulos de corte, que se estendem até a região mais próxima do cabo; esse desenho de borda assimétrica junto ao tratamento eletrolítico de superfície tornam o instrumento mais resistente a fraturas. Em 2014 a sua seção transversal adquiriu um formato mais retangular ou "S" próximo ao cabo e mais triangular na ponta, sendo sua conicidade de 0,06 nos primeiros 5 mm e praticamente nenhuma conicidade no restante. Recentemente, a Micro Mega lançou o sistema 2Shape, o qual apresenta quatro instrumentos

(#25/.04, #25/.06, #35/.06 e #40/.04), sendo os dois últimos para canais mais largos; apresenta os mesmos recursos dos instrumentos One Shape de lima única, porém com um diferente design de borda assimétrica e um novo sistema de tratamento térmico denominado T-Wire Technology, capaz de otimizar a resistência à fadiga cíclica em 40%, segundo o fabricante (GAVINI et al., 2018).

Em 2011, a Coltene/Whaledent (Cuyahoga Falls, OH) apresentou a linha Hyflex com instrumentos feitos de CM-Wire (Controlled Memory Wire, Johnson City, TN, EUALÇH) (GAVINI et al., 2018). A liga CM tratada termicamente controla a memória do instrumento, o que possibilita uma maior manutenção da curvatura original do canal e maior eficiência do instrumento no preparo do canal radicular. Esses instrumentos apresentam um desenho de seção transversal triangular com três arestas cortantes, apesar dos instrumentos com conicidade 20/.04 e 25/.04 apresentarem um desenho de seção transversal quadrada com quatro lâminas e quatro estrias (ELNAGHY, EISAKA & MANDORAH, 2020).

Devido a temperatura final de fabricação da fase de austenita dos instrumentos Hyflex CM ser em torno de 47°C, o instrumento pode ser um composto de martensita e austenita de fase R em temperatura ambiente, o diferenciando dos instrumentos convencionais de NiTi. Os instrumentos Hyflex CM têm uma maior eficiência de corte na ação lateral em comparação com os instrumentos de NiTi eletropolidos e convencionais, o que compensa o aumento da flexibilidade, que é considerado como prejudicial à eficiência de corte (ZUPANC, VAHDA-PAJOUH & SHEPHERD, 2018).

Em 2016, foi criado pelo mesmo fabricante o sistema Hyflex EDM\_(HEDM; Coltene / Whaledent AG, Altstätten, Suíça); feito ainda em liga NiTi CM 495, mas em conjunto com a tecnologia de erosão por faísca, amplamente utilizada na engenharia (GAVINI et al., 2018). De acordo com vários estudos, a Hyflex EDM exibe uma resistência à fadiga cíclica significativamente aumentada em comparação com Hyflex CM, M-Wire e instrumentos convencionais de NiTi. (ZUPANC, VAHDA-PAJOUH & SHEPHERD, 2018). No processo EDM são geradas faíscas que fazem com que a superfície do material derreta, evapore tornando as limas HyFlex EDM mais fortes e resistentes; de acordo com o fabricante, são até 700% mais resistentes à fadiga cíclica em comparação com as limas tradicionais de NiTi. As limas One Shape e as limas EDM (HyFlex/EDM) são usadas por motor alternativos e contínuos dentro dos canais radiculares. A sequência de instrumentos aplicados no sistema

Hyflex EDM para canais radiculares retos engloba a utilização de uma lima de abertura de acesso opcional que é usado no 1/3 coronal, um glide path (10/05) e uma lima de modelagem n25 HyFlex EDM usada para preparar o 1/3 apical. Já a sequência dos instrumentos em canais curvos engloba a utilização de uma lima de abertura de acesso opcional que é usado no 1/3 coronal uma lima de glide path (10/05) e duas limas de modelagem (shaping files): 20/05 HyFlex CM e a n25 (HyFlex EDM file) usadas para o 1/3 apical (KUZEKANANI, 2018).

Os sistemas ProDesign R e ProDesign Logic (Easy Dental Equipments, Belo Horizonte, MG, Brasil) também são feitos de CM-Wire. Eles apresentam seção transversal em forma de S, ponta inativa e ângulos helicoidais variáveis com duas arestas de corte, se diferindo apenas na direção de corte das arestas; o ProDesign Logic é usado em movimento rotativo centralizado, e o ProDesign R é projetado para movimento alternativo, com angulações semelhantes às do sistema WaveOne. O sistema ProDesign Logic possui limas de modelagem (#25.0,06, #30.0,05, #35.0,05, #40.0,05) e limas de glide path (#25.0,01, #30.0,01, #35.0,01, #40.0,01) (ELNAGHY, EISAKA & MANDORAH, 2020).

Os sistemas Vortex Blue (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça), X1 Blue File (MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil), Reciproc Blue (VDW), ProTaper Gold (Dentsply Sirona) e WaveOne Gold são fabricados com ligas tratadas termicamente Gold e Blue (GAVINI et al., 2018). Quando comparadas com instrumentos convencionais de NiTi e M-Wire, as limas tratadas termicamente Gold e Blue apresentam maior flexibilidade e resistência à fadiga, o que pode ser advindo do seu estado martensítico (ZUPANC, VAHDA-PAJOUH & SHEPHERD, 2018). No instrumento Vortex Blue (VB) há o controle de memória de forma da liga NiTi e melhora da resistência à fadiga do instrumento; tem boa eficiência de corte e resistência ao desgaste do instrumento (ELNAGHY, EISAKA & MANDORAH, 2020).

O sistema ProTaper Gold possui a morfologia das limas (tamanhos, conicidade e seção transversal) semelhante ao sistema ProTaper Universal, porém, apresenta o tratamento térmico Gold, o qual aumenta sua flexibilidade e resistência à fadiga cíclica, contribuindo para um preparo mais centrado de canais curvos, e seu cabo de conexão é mais curto, o que facilita o acesso aos canais (GAVINI et al., 2018). Segundo Elnaghy et al. (2015), o PTG apresentou maior resistência à fadiga cíclica e maior flexibilidade em relação ao PTU, enquanto o instrumento PTU apresentou maior resistência ao estresse de torção e microdureza. A microdureza

média da dentina radicular é de 67 VHN e a dureza dos instrumentos deve ser aproximadamente 5 vezes mais dura que a dentina para moldar e limpar adequadamente as paredes do canal, já que a alta microdureza superficial indica melhora na eficiência de corte e resistência ao desgaste dos instrumentos rotatórios de NiTi, porém essa característica pode ser compensada por outros fatores, como pela velocidade de giro, por exemplo.

WaveOne Gold (WOG) (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) é um sistema alternativo de lima única com secção transversal em paralelogramo, o sistema é composto por quatro instrumentos (#20.07, #25.07, #35.06 e #45.05) (BHATIA et al., 2021). As limas WOG foram introduzidas como uma atualização do WaveOne (WO, Dentsply Maillefer) com procedimento de tratamento térmico para liga de ouro, resultando em maior flexibilidade e resistência à fadiga cíclica (ZUPANC, VAHDA-PAJOUH & SHEPHERD, 2018).

Seu instrumento possui quatro arestas de corte com um ângulo de inclinação de 85°, sendo que apenas duas arestas estão em contato permanente com as paredes do canal. É possível preparar uma ampla gama de diâmetros apicais e anatomias de canais radiculares a partir da variedade dos instrumentos disponíveis. A conicidade reduzida garante um preparo mais conservador com maior preservação da dentina em D16 (região cervical do preparo) e a ponta de seu instrumento é cônica e semi-ativa, o que auxilia na penetração em qualquer canal. Com esse design, é gerado um movimento recíproco muito suave, com aumentada segurança e melhorada capacidade de corte, em que não se faz necessário a colocação de qualquer tensão sobre a lima (GAVINI et al, 2018).

Segundo o fabricante, os instrumentos WaveOne Gold devem ser utilizados em conjunto com um motor endodôntico e de forma manual quando na presença de curvaturas acentuadas; são compostos pela peça funcional em liga de níquel-titânio (M-Wire®), um êmbolo de silicone colorido e uma haste de latão cromado com um anel de plástico ABS. Devido ao seu processamento, podem apresentar-se ligeiramente curvados, não necessitando endireitá-los antes de seu uso, já que, uma vez dentro do canal, a lima seguirá a anatomia do canal radicular (<https://bulario.dentsplysirona.com.br/>).

Para uso em movimento rotativo e alternativo (90° no sentido horário, 30° no sentido anti-horário), foi disponibilizado em 2016 o sistema Genius (Ultradent, South Jordan, UT, EUA). Da mesma forma, foi criado o sistema Twisted File Adaptive

(SybronEndo, Laranja, CA); é uma variação do sistema Twisted File, na qual os instrumentos foram rearranjados em uma nova sequência. Para a sua utilização, é recomendado o motor elétrico Elements (Sybron Endo), capaz de alternar automaticamente do movimento rotativo para alternativo quando há aumento da resistência à rotação (GAVINI et al., 2018).

Além disso, apresenta tratamento térmico de fase R, torção do metal para produção dos instrumentos, seção transversal triangular equilátero e condicionamento de superfície especial capazes de melhorar potencialmente a força, flexibilidade e resistência à fadiga do sistema. A presença da liga MaxWire a torna super elástica com memória de forma. As limas TFA são comercializadas de acordo com seu uso em diferentes tamanhos de canal. O pacote com uma faixa de cor (com sequência SM1 20/0.04, SM2 25/0.06) são usados para canais pequenos (SM); e o pacote com duas faixas coloridas (com sequência de instrumentos ML1 25/0.08, ML2 35/0.06) são usados para canais médios ou grandes (ML) (BHATIA et al., 2021).

Segundo Bhatia et al (2021), o WaveOne Gold apresentou mais microcavidades, sulcos e irregularidades, enquanto o sistema Twisted File Adaptive apresentou menor número de microcavidades. As evidências disponíveis são limitadas, mas o sistema WOG mostrou mais deterioração da superfície e menos formação de camada passiva em comparação com os sistemas TFA e XPS.

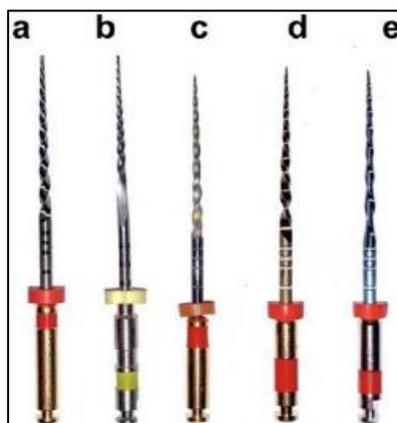


Figura 4 - Rotary NiTi instruments:  
 A) ProTaper Universal F2; B) TF adaptive; C) HyFlex EDM; D) Wave One Gold; E) Reciproc Blue.  
 Fonte: Bathia et al., 2021.

Os sistemas ProTaper Next e XP- endoShaper são exemplares do movimento excêntrico ou assimétrico (com eixo de rotação descentralizado). O sistema ProTaper Next possui um design inovador de seção transversal retangular assimétrica onde apenas duas arestas de corte tocam a parede do canal durante sua rotação contínua. Por serem feitos de NiTi M-Wire, possuem maior resistência à fadiga cíclica e melhores propriedades mecânicas do que instrumentos feitos de ligas convencionais de NiTi (VELOZO et al., 2020).

O XP-endo Shaper (XPS) (FKG Dentaire SA, La Chaux-de-Fonds, Suíça) é um sistema rotativo de lima única, também feitos com liga de NiTi M-Wire. A ponta do instrumento tem seis arestas de corte e uma transição suave da base da ponta para o eixo helicoidal conhecido como “ponta de reforço”. Vai do diâmetro ISO 15 ao diâmetro ISO 30 e aumenta a conicidade de 0,01 para pelo menos 0,04 do canal, permitindo que seja formado um canal mínimo de 30/0,04 quando em contato com a temperatura corporal. O sistema possui um núcleo reduzido, levando à menos tensões contra as paredes do canal radicular. Além disso, mantém a anatomia original dos 4mm apicais do canal e seu preparo não é comprometido pela curvatura (XAVIER et al. 2021).

O seu núcleo é capaz de se expandir além do tamanho em temperaturas iguais ou superiores a 35°C assumindo uma forma de “S” e afunilará cerca de 4% dependendo da forma inicial do canal e do tempo de permanência no canal. O fabricante afirma que seu design em “S” e a liga utilizada tornam a lima muito flexível, o que reduz o estresse nas paredes do canal radicular e melhora a resistência à fadiga cíclica. É importante mencionar que o design especial de baixa conicidade (0,01) do instrumento XP-endo Shaper afeta profundamente sua resistência cíclica e de torção (KUZEKANANI, 2018).

Foi constatado por Velozo et al. (2020) que, mesmo tendo extrema flexibilidade, devido desing e tratamento térmico especial, e capacidade de se contrair e expandir dentro do canal radicular, o XP-endo Shaper não atinge áreas que outros instrumentos não poderiam acessar. Nesse estudo, o sistema XP-endo Shaper e o sistema ProTaper Next tiveram uma capacidade de modelagem do canal radicular semelhante, sendo que nenhum foi capaz de preparar totalmente os longos canais ovais dos incisivos inferiores.

O sistema rotativo Mtwo (VDW, Munique, Alemanha), apresenta um design de seção transversal em “S”, ângulo de inclinação positivo com duas arestas de corte e

ponta inativa, formando um ângulo helicoidal variável que gera uma menor força exercida sobre a dentina, não causando o efeito de parafuso. É adequado para a remoção de resíduos de dentina em canais helicoidais, com paredes mais sinuosas; apresenta tamanho de ponta e conicidade de 30,05 (XAVIER et al., 2021). O estudo de Xavier et al. (2021) mostrou que o sistema XP-endo Shaper foi mais eficaz no terço apical quando comparado ao sistema Mtwo, uma região considerada de difícil desinfecção e limpeza.

Os instrumentos reciprocantes Reciproc blue CM (VDW GmbH, Munique, Alemanha) é a nova geração do sistema Reciproc original, com melhorias referentes a resistência à fadiga cíclica e à flexibilidade dos instrumentos, além de ter a capacidade de ser pré-dobrado. É recomendado pelo fabricante o estabelecimento de um caminho de deslizamento anterior ao seu uso e que sejam usados movimentos de bicada cuidadosos até a obtenção do comprimento de trabalho (GAVINI et al., 2018).

O sistema TRUShape (Dentsply Sirona) é um sistema que utiliza o movimento rotativo assimétrico, devido à conicidade variável dos instrumentos e seção transversal modificada com centro de massa excêntrico. Apresentam tratamento térmico após o processo de usinagem e seu longo eixo é em forma de S, com seção transversal triangular e conicidade variável conhecida como 0,06v. Por promover uma maior superfície de contato do instrumento com as paredes do canal, é bem recomendado para canais com geometrias irregulares (GAVINI et al., 2018).

O sistema TruNatomy (TRN) (Dentsply Sirona) possui instrumentos NiTi tratados termicamente com um design especial e memória de forma. São de desenho transversal paralelogramo descentralizado e estão disponíveis em três tamanhos diferentes que são: small (tamanho 20/.04), prime (tamanho 26/.04) e médium (tamanho 36/.03). O design fino do fio NiTi é de 0,8 mm em vez de até 1,2 mm, presente na maioria dos outros instrumentos cônicos. Devido à sua geometria, conicidade regressiva e design fino, preserva a dentina estrutural; e o tratamento térmico da liga melhora o arranjo da estrutura cristalina, o que pode melhorar a flexibilidade e resistência dos instrumentos de NiTi, além de reduzir o estresse interno e os defeitos de superfície devido ao processo de retificação (ELNAGHY, EISAKA & MANDORAH, 2020).

No estudo de Elnaghy, Eisaka & Mandorah (2020), foi relatado que os instrumentos VortexBlue tinham um grau mais alto de austenita do que os

instrumentos Hyflex CM na temperatura corporal. Hyflex CM e TruNatomy apresentaram resistência à fadiga superior a Vortex Blue e RC em canais de curvatura simples e dupla. RC teve a menor resistência à fadiga do que outros instrumentos.

Os sistemas rotativos de lima única podem ser englobados em dois grupos: Wave One e Reciproc-VDW, com movimentos alternativos e Neoniti–Neolix (Charles-La-Forêt, França), One Shape-Micro-Mega, HyFlex/EDM-Coltene, Whaledent-Swiss, e XP-endo shaper–FKG Swiss com movimentos contínuos (KUZEKANANI, 2018).

O sistema inovador Self-Adjusting File (SAF; ReDent-Nova, Ra'anana, Israel) é capaz de fornecer a desinfecção e modelagem eficazes de todas as morfologias do canal. Sua tecnologia de limpeza e modelagem visa a remoção de uma camada uniforme de dentina de todo o perímetro do canal, evitando a remoção desnecessária e exagerada de dentina (KUZEKANANI, 2018). A lima NiTi oca, sem núcleo metálico central, tem a capacidade de se ajustar à seção transversal do canal radicular respeitando a anatomia do canal; por meio de movimentos vibratórios é capaz de retirar de forma uniforme a dentina das paredes de diferentes canais, além de ativar um fluxo contínuo de irrigação em seu perímetro durante todo o procedimento (SAWANT et al., 2021).

A SAF é uma lima com paredes de 1,5 ou 2,0 mm de diâmetro composta por uma rede de níquel-titânio de 120 µm de espessura. A superfície dos fios da treliça é um pouco abrasiva, retirando a dentina a partir do movimento de moagem para frente e para trás. São utilizadas a partir de peças do motor vibratório *transline (in e out)* com 3.000 a 5.000 vibrações por minuto e amplitude de 0,4 mm. Deve ser colocada e retirada de forma manualmente delicada no canal, enquanto vibra, até seu comprimento de trabalho com irrigação contínua de dois ciclos de 2 minutos em cada canal. Em dentes curvos e multi-radiculares, pode-se usar mais de um SAF para evitar deformação (BANSAL & BANSAL, 2015).

One Curve é um sistema de movimento contínuo, com liga de NiTi tratada termicamente e de uso único que permite moldar todo o comprimento do canal com um único instrumento (25/.06), diretamente no ápice. Apresenta a tecnologia C. wire, apresentando memória de forma, e segundo o fabricante é um instrumento inteligente, eficiente e conservador fabricado pela Micro-Mega Company (KUZEKANANI, 2018). O sistema oferece melhor centralização e capacidade de

corte devido ao seu design transversal variável. Apresenta um diâmetro de 0,25mm e conicidade constante de 6%, tendo nos 4mm apicais da lima um design de seção transversal de tripla hélice e no comprimento restante uma seção transversal em forma de S com 2 lâminas (SARICAM & KAYAOGLU, 2020).

A exploração é o primeiro passo da limpeza e modelagem do canal radicular e é recomendado que seja feito antes do uso de limas rotatórias; é definido como um túnel liso da entrada do canal até o forame apical do canal radicular. Como a preparação manual de um glide path usando limas manuais pode ser demorada e difícil, muitas limas de glide path foram introduzidas (OZYUREK et al., 2018).

Além disso, os sistemas de glide path possuem maiores flexibilidade e resistência mecânica dos instrumentos de NiTi, fazendo com que seu uso reduza erros iatrogênicos durante a exploração do canal radicular com limas manuais. Nesse sentido, o sistema PathFile (Dentsply Sirona) foi uma proposta pioneira. Ele apresenta três instrumentos com seção transversal quadrangular disponíveis com diâmetros de ponta de 13, 16 e 19 mm e conicidade padrão .02, sendo recomendada o uso da lima K nº 10 para uma permeabilidade inicial. Os instrumentos PathFile possuem um ângulo reduzido na transição entre a ponta e a primeira aresta de corte e uma ponta inativa; aspectos que reduzem as chances de transporte apical (TOPCUOGLU et al., 2017).

O instrumento ProGlider (Dentsply Sirona) tem como função facilitar o avanço de instrumentos rotatórios subsequentes a partir de uma pré-ampliação do canal radicular, maior do que quando feita com uma lima K nº 15; o instrumento apresenta um afunilamento progressivo (2–8%) e é fabricado pela usinagem de um NiTi M-Wire, garantindo flexibilidade e resistência à flexão ao instrumento (GAVINI et al., 2018). O sistema consiste em uma única lima, com conicidade progressiva variável e seção transversal quadrada e está disponível com tamanho de ponta 16 e um cone de 0,02 na ponta da lima. As limas ProGlider (liga M-wire) apresentaram CFR maior que as limas ScoutRaCe e PathFile (ambas com fio de NiTi convencional) na curvatura apical (TOPCUOGLU et al., 2017).

A preparação de um glide path aumenta a durabilidade das limas rotatórias que posteriormente serão usadas para o preparo do canal radicular, já que se associa diretamente à redução do estresse de torção. A área de contato entre as arestas de corte das limas de níquel-titânio (NiTi) e as paredes dentinárias aumenta, consideravelmente, durante o preparo do canal quando não é realizado previamente

um caminho de deslizamento (TOPCUOGLU et al., 2017). Os instrumentos ScoutRace e Race ISO 10 conferem um acesso inicial mais rápido do canal e maior resistência à fadiga cíclica e flexibilidade quando comparados às limas manuais de aço inoxidável. A sequência ScoutRace é composta por três instrumentos (#10, #15 e #20), com seção transversal quadrada e conicidade 0,02, e a série Race ISO 10, por instrumentos #10 com conicidade 0,02, 0,04 e 0,06 (GAVINI et al., 2018).

R-Pilot (VDW, Munique, Alemanha) e WaveOne Gold Glider (WOG Glider; Dentsply Sirona Endodontics, Ballaigues, Suíça) são instrumentos de glide path que usam um movimento recíproco. O instrumento R-Pilot foi o primeiro a ser introduzido no mercado, tem uma seção transversal em forma de S, diâmetro de ponta de 0,125 mm e 4% de conicidade constantemente crescente, e é feita de liga M-Wire. Já o WOG Glider, é um instrumento de glide path alternativo, feito de uma liga tratada termomecanicamente ('Gold'), com seção transversal em paralelogramo e duas arestas de corte; tem 0,15mm de diâmetro de ponta e conicidade variável crescente de 2 a 6% (OZYUREK et al., 2018).

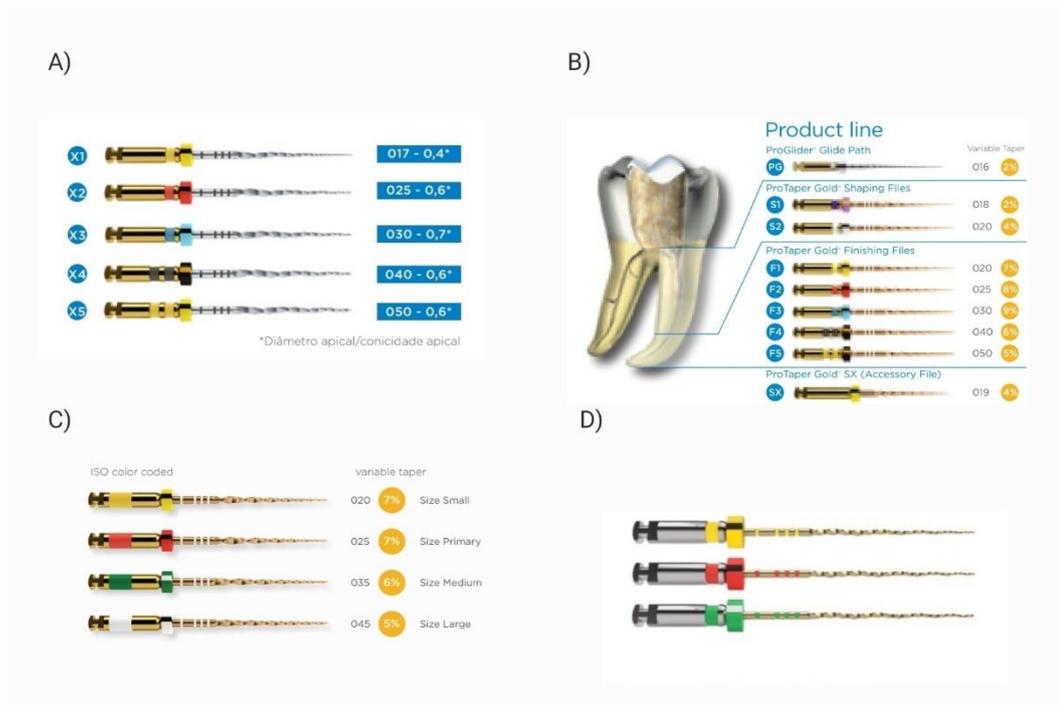


Figura 5: A) Sistema ProTaper Next, B) Sistema ProTaper Gold, C) Sistema WaveOne Gold, D) Sistema TruNatomy.

Fonte: [www.dentsplysirona.com](http://www.dentsplysirona.com)

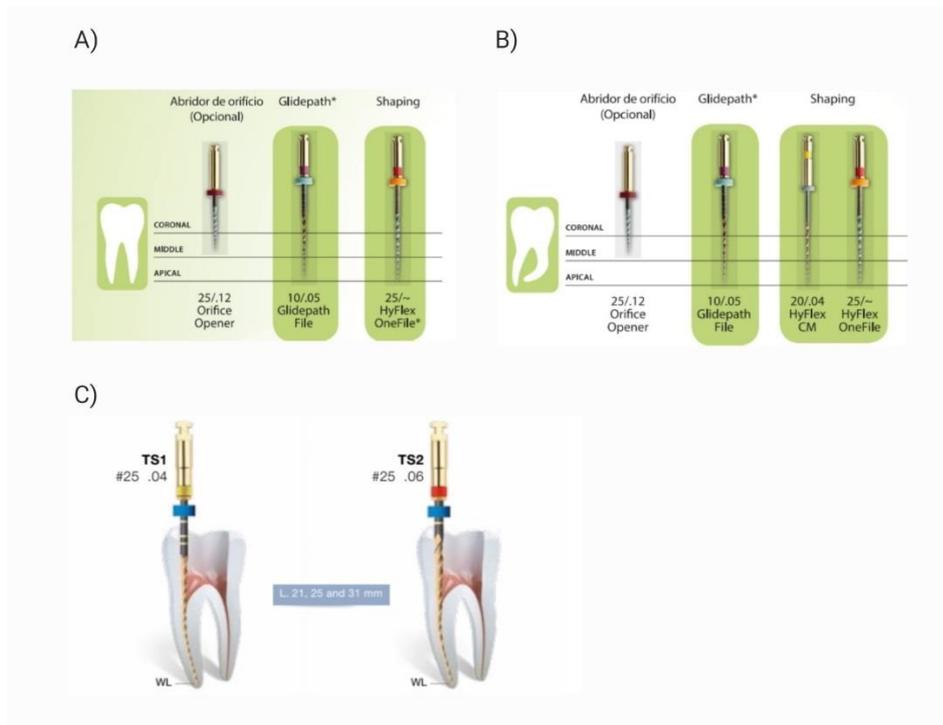


Figura 6: A) Sistema HyFlex para canais regulares, B) Sistema HyFlex para canais curvos, C) Sistema 2Shape.

Fonte: [www.coltene.com.br](http://www.coltene.com.br)

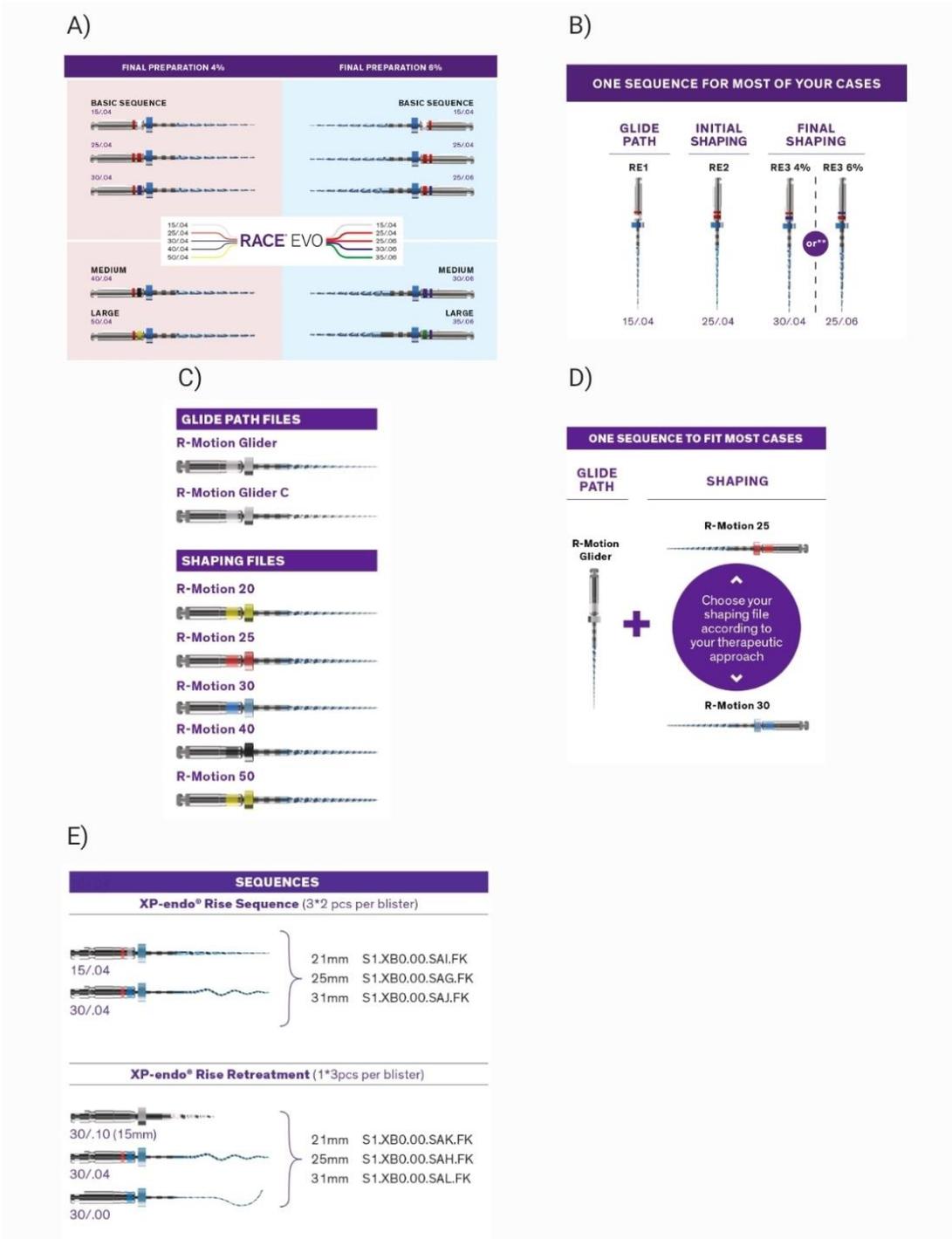


Figura 7: A) Sistema RACE EVO, B) Sequência RACE EVO utilizada na maioria dos casos, C) Sistema R-Motion, D) Sequência R-Motion utilizada na maioria dos casos, E) Sistema XP – endo.  
 Fonte: www.fkg.ch

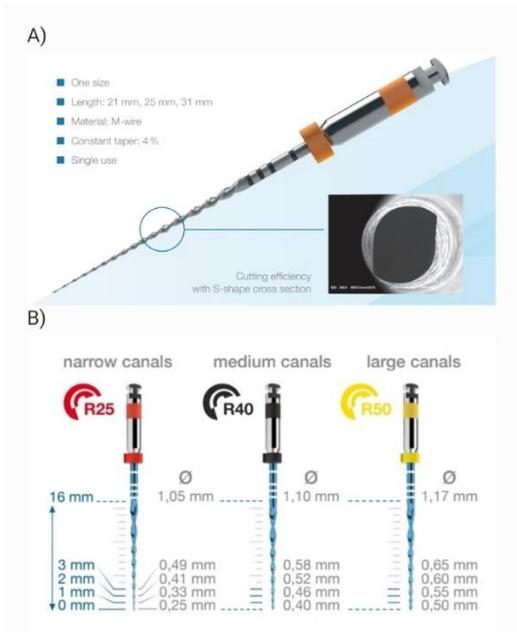


Figura 8: Sistema R-PILOT. B) Sistema RECIPROC blue.

Fonte: vdw-dental.com

### 3.4 Motores elétricos

Vários motores elétricos foram criados com o intuito de operar os mais variados sistemas existentes. Objetivando aumentar o leque de possibilidades de uso da instrumentação, foi introduzido a possibilidade de ajuste dos ângulos de alguns motores endodônticos, introduzidos mais recentemente no mercado. Com isso, pode-se usar instrumentos criados para cinemática rotativa em um movimento alternativo modificando seus ângulos alternativos, de acordo com a proposta de um determinado tratamento. X-Smart Plus (Dentsply Sirona) e VDW Silver (VDW) são exemplos de dois motores endodônticos oferecidos há vários anos no mercado que apresentam ângulos e velocidades já definidos. Já um exemplo de motor ajustável, lançado recentemente, é o iRoot (Bassi Endodontics, Belo Horizonte, Brasil), o qual permite o ajuste dos ângulos (BRAAMBATI et al. 2022).

De acordo com o fabricante, o motor X-Smart Plus é capaz de realizar o movimento Reciprocante, além de movimento rotatório convencional, possibilitando a utilização de sistemas reciprocantes de Limas Única como WAVE ONE; seu acionamento é na peça de mão, sem a necessidade de pedal; apresenta contra-ângulo com cabeça pequena e possível ajuste em 6 posições diferentes. Funciona ligado à fonte ou à bateria, o que garante portabilidade ao equipamento. Apresenta

programas pré-definidos para uso dos sistemas Wave One, Protaper Next, Protaper Universal, Pathfile, Reciproc e Gates, além de ainda memorizar até 7 configurações da preferência do profissional.

Já o motor VDW Silver (VDW) também apresenta configurações pré programadas de sistemas recíprocante e rotatório em Níquel de Titânio. Abarca sistemas recíprocantes como RECIPROC®, RECIPROC® blue, R-PILOTTM WaveOne®, WaveOne® Gold, WaveOne® Gold Glider, bem como os sistemas rotatórios de NiTi: Mtwo®, Mtwo® Retreatment, FlexMaster®, ProTaper®, ProTaper Next®, ProTaper® Universal, ProTaper® Retreatment, ProGlider®, PathFile® K3™, Gates. Apresenta configurações de torque e velocidade individualmente programáveis, ASR (rotação reversa automática quando a configuração de limite de torque é atingida em seu modo rotatório), Função Comfort reciproc reverse (em modo RECIPROC), possibilidade de atualização do software e operação contante mesmo durante a recarga (<https://vdwdental.com.br>).

Da mesma marca, existe o motor VDW Gold Reciproc, possuindo as mesmas funcionalidades do VDW Silver, além de operar outros sistemas (ProFile®, GT® Series X, Hero®, RaCe, FlexMaster® Retreatment, Lentulo), possuir o programa ANA de redução do limite de torque, exibição de menu individualmente customizada e possibilidade de preparar o canal radicular sem determinação do comprimento (<https://vdwdental.com.br>).

Outro exemplo de motor bastante encontrado no mercado é o Motor Endodôntico Endopen (Schuster) é um equipamento que permiti uma grande variedade de combinações de técnicas de trabalho no tratamento endodôntico, oferecendo 34 configurações dos principais sistemas de limas NiTi do mercado, 6 opções de movimentos recíprocantes (3 à direita e 3 à esquerda) e 9 programas personalizáveis, além de poder trabalhar em conjunto com o Localizador Apical Finepex Link, melhorando a eficiência de seu trabalho. Da mesma marca, tem-se o Motor Endodôntico com Localizador Apical Sensoryé um equipamento que conta com o localizador apical integrado, auxiliando na determinação do comprimento do canal e é compatível com 28 configurações dos principais sistemas de limas NiTi do mercado. Sua peça de mão opera com baixo nível de ruído, e as dimensões da cabeça do aparelho são reduzidas e com ergonomia adequada (<https://schuster.ind.br>).

O motor E-Connect S, da MK LIFE, bastante presente no mercado, também se apresenta com movimento rotatório e recíprocante com programação de ângulo recíprocante de 10 em 10 graus, além de possuir localizador integrado, velocidade programável até 1000 RPM, torque programável até 4N, compatibilidade com todos os sistemas de limas, memória para 10 programas a sua escolha e 25 já pré-programadas e bateria de íon-lítio de longa duração. Já o E-Connect Pro, de mesma marca, também é um motor de movimento rotatório e recíprocante (esquerda e Direita), com Torque (0,5 a 4N) e velocidade (de 120 a 1000 RPM). Possui 9 memórias programáveis, é compatível com todos os sistemas de limas, possui auto reverse e bateria de íon-lítio de longa duração ([www.mklife.com.br](http://www.mklife.com.br)).

Novos motores endodônticos ajustáveis são ainda menos conhecidos em relação aos ângulos reais de reciprocidade e velocidade de entrega. De acordo com os achados de Braambati et al. (2022), os quais se encontram em concordância com os achados de estudos anteriores, o motor iRoot estudado não é confiável em relação aos ângulos de reciprocidade quando ajustado no modo WaveOne; mesmo que nenhum dos motores conseguiu atingir o que foi ajustado, seus resultados foram mais discrepantes do que X-Smart e VDW Silver; no modo WaveOne foi o menos confiável para o número de ciclos para completar uma rotação completa (a cada sequência de 3 movimentos).

É fato que submeter um instrumento a um ângulo cinemático superior ao limite de deformação plástica do instrumento aumenta o risco de fratura. Dessa forma, foi concluído por Braambati et al. (2022) que o motor iRoot é mais arriscado do que os outros motores quando a separação do instrumento é considerada. Já que, o motor iRoot apresentou ângulo CW 161,6% maior no ajuste WaveOne e 215,1% maior no ajuste Recíproc. Sendo que os demais motores obtiveram no máximo 80,2% de discrepância no ângulo CW.

### **3.5 Aplicações clínicas e seus benefícios**

Sabe-se que os instrumentos rotatórios de NiTi apresentam maiores benefícios quando comparados com as limas manuais de aço inoxidável. Possuem a capacidade de manter uma forma adequada do canal, com preparos mais arredondados e mais centrados no canal, ajudando a manter a anatomia original do canal radicular, além de permitir a otimização do tempo de preparo dos canais.

Entretanto, são mais passíveis de sofrerem fraturas por torção e/ou flexão por envolverem um maior número de rotações dentro do canal radicular, característica que foi minimizada com as melhorias que vêm sendo adquiridas com o passar do tempo (ZAMZA et al., 2021).

Os instrumentos de NiTi apresentam flexibilidade superior e resistência mecânica capazes de diminuir erros iatrogênicos durante a exploração do canal radicular, comuns a instrumentação manual, mesmo que estes forneçam feedback tátil sobre a anatomia do canal radicular (TOPCUOGLU et al., 2017). Portanto, a introdução do NiTi na Endodontia trouxe algumas vantagens indiscutíveis, resumidas essencialmente em três pontos: 1- redução do tempo de tratamentos endodônticos, devido a maior eficiência de corte dos instrumentos rotatórios de NiTi e o uso de instrumentos de conicidade aumentada; 2- simplificação dos procedimentos de instrumentação, onde é possível moldar os canais radiculares respeitando suas trajetórias originais sem alterar sua anatomia original e; 3- o aumento da previsibilidade e eficácia dos tratamentos endodônticos (ZANZA et al., 2021).

A superelasticidade da liga NiTi possibilita o uso de instrumentos endodônticos com conicidade aumentada e controlado risco de fratura por flexão ou fadiga cíclica, melhorando o processo de conformação do canal radicular e garantindo maiores taxas de sucesso quando comparados aos tratamentos realizados com instrumentos manuais de SS. A fratura do instrumento não condena o resultado da terapia endodôntica, mas adiciona maior quantidade de tempo e recursos utilizados (MARTINS et al., 2022).

Alguns dos vários sistemas existentes no mercado apresentam-se como mais eficientes nos preparos de canais mais difíceis como os de formatos mais curvos; como exemplo tem-se o sistema XP-endo Shaper (XPS) (FKG Dentaire SA, La Chaux-de-Fonds, Suíça), que devido ao seu design em “S” de baixa conicidade com núcleo reduzido, sua capacidade de se expandir e contrair e a liga utilizada, tornam a lima muito flexível, o que reduz o estresse nas paredes do canal radicular e melhora a resistência à fadiga cíclica. Entretanto, apesar dessas características, estudos como do Velozo et al. (2020) concluem que o XP-endo Shaper não atinge áreas diferentes das de outros sistemas como o sistema ProTaper citado, apresentando limitações como os demais.

Da mesma forma, o sistema inovador Self-Adjusting File (SAF; ReDent-Nova, Ra'anana, Israel) é capaz de realizar uma desinfecção e modelagem eficazes de

todas as morfologias do canal. A lima NiTi, por meio de movimentos vibratórios, retira de forma uniforme a dentina das paredes de diferentes canais; por ser oca, sem núcleo metálico central, tem a capacidade de se adequar à seção transversal do canal radicular respeitando a sua anatomia, além de permitir um fluxo contínuo de irrigação durante todo o procedimento (SAWANT et al., 2021).

Os instrumentos austeníticos possuem propriedades superelásticas e altos valores de torque na fratura, podendo ser melhores empregados no preparo de canais radiculares retos ou pouco curvos e em instrumentos de path finding que possuem menor diâmetro de forma a compensar a diminuição da resistência ao torque nesses casos. O CM Wire, bem como os instrumentos tratados com tecnologia Gold e Blue, são compostos de quantidades substanciais de martensita, o que os garante maior flexibilidade com uma maior resistência à fadiga cíclica, maior ângulo de rotação, porém menor torque na fratura. Assim, sistemas com essas tecnologias também são mais adequados em canais com curvaturas mais acentuadas ou com dupla curvatura, degraus pré-existentes, por exemplo, por suportarem situações de maior fadiga cíclica. Os instrumentos martensíticos permitem ser pré-dobrados o que pode ser útil ao tentar contornar as bordas ou, até mesmo, em casos de pouca abertura de boca do paciente (ZUPANC, VAHDAT-PAJOUH & SHEPERDE, 2018).

Hyflex CM, ProDesign R e ProDesign Logic (Easy Dental Equipments, Belo Horizonte, MG, Brasil) são exemplos de sistemas feitos de CM-Wire. Já os sistemas Vortex Blue, X1 Blue File, Reciproc Blue (VDW), ProTaper Gold (Dentsply Sirona) e WaveOne Gold são exemplos de sistemas endodônticos fabricados com ligas tratadas termicamente Gold e Blue.

Para canais com geometrias irregulares, o sistema TRUShape (Dentsply Sirona), de movimento rotativo assimétrico, é bem recomendado por promover uma maior superfície de contato do instrumento com as paredes do canal (GAVINI et al., 2018). O sistema TruNatomy (TRN) (Dentsply Sirona) de desenho transversal paralelogramo descentralizado, conicidade regressiva, design fino e tratamento térmico, preserva a dentina estrutural, reduz o estresse interno e os defeitos de superfície, também sendo adequado para canais de maiores irregularidades (ELNAGHY, EISAKA & MANDORAH, 2020). O movimento rotatório excêntrico mais recentemente criado, promove pontos de contato mais equilibrados com a dentina radicular, fornece um maior contato com as paredes do canal, o que também

interfere na resistência à fadiga cíclica do instrumento (KUZEKANANI, 2018) O sistema ProTaper Next e o sistema XP-endo Shaper, que se expande além do tamanho de seu núcleo em temperaturas iguais ou superiores a 35°C, também são outros exemplares dessa tecnologia (GAVINI et al., 2018).

Para um acesso inicial do canal de forma mais rápida, podem ser utilizados os instrumentos de glide path, os quais, quando comparados às limas manuais de aço inoxidável, proporcionam maior resistência à fadiga cíclica e flexibilidade (GAVINI et al., 2018). As limas PathFile (Dentsply Sirona), ProGlider (Dentsplay Sirona), ScoutRace, Race ISO 10, R-Pilot (VDW, Munique, Alemanha) e WaveOne Gold Glider (WOG Glider; Dentsply Sirona Endodontics, Ballaigues, Suíça) são exemplos de instrumentos de glide path presentes no mercado.

## 4 CONCLUSÃO

- São variados os tipos de materiais e desenhos utilizados nas limas endodônticas, sendo essas diferenças determinantes nas propriedades dos sistemas de limas para instrumentação.
- O tratamento endodôntico avançou muito com a adição dos instrumentos rotatórios de liga de NiTi, principalmente quando comparadas às limas manuais de titânio, porém o risco de fratura permanece presente devido a várias causas.
- Os fatores intrínsecos ao instrumento que afetam as distintas propriedades mecânicas englobam o tamanho, conicidade, dimensão da seção transversal e composição da liga do instrumento, que se somam ao tipo de anatomia do canal radicular encontrada.
- Sistemas de instrumentação endodôntica motorizada são criados ou aperfeiçoados com novas tecnologias a cada ano com intuito de trazer melhorias como flexibilidade e resistência à fadiga cíclica aumentadas.
- Alguns dos vários sistemas existentes no mercado apresentam-se como mais eficientes nos preparos de canais mais difíceis, como aqueles com curvaturas mais acentuadas ou com dupla curvatura, degraus pré-existentes, seção ovalada, devido a características que os tornam mais flexíveis, com maior resistência à fadiga e melhor capacidade de adaptação no canal.
- Sistemas compostos de quantidades substanciais de martensita, como os tratados com a tecnologia CM Wire, Gold e Blue, possuem maior flexibilidade com uma maior resistência à fadiga cíclica, maior ângulo de rotação, memória de forma, porém menor torque na fratura.
- Os movimentos reciprocantes possuem menor tensão de tração e compressão na região flexionada do instrumento em relação ao movimento rotatório contínuo, o que traduz em maior resistência à fadiga.

- Alguns instrumentos que utilizam movimento rotativo assimétrico e que apresentam um design especial são recomendados para canais geometricamente irregulares, preservando dentina estrutural e reduzindo o estresse interno.
- Os instrumentos glide path são bem indicados na exploração inicial do canal.
- É imprescindível que os cirurgiões-dentistas conheçam as principais propriedades dos variados sistemas de limas utilizados e as diferenças entre os materiais e as cinemáticas empregadas nas novas tecnologias.

## REFERÊNCIAS

- BANSAL, K.; BANSAL, R. SAF: Paving a way to minimal invasive. **International Dental Journal of Student's Reserch**, v. 3, n. 3, p. 144-149, Nov. 2015.
- BRAAMBATI, D. et al. Reciprocating Kinematics of X-Smart Plus, VDW Silver and, iRoot Endodontic Motors: A Comparison Between Real and Set Values. **Brazilian dental journal**, v. 33, N.6, p. 28-35, Dec. 2022.
- BHATIA, S. et al. Evaluation of usage-induced degradation of different endodontic file systems. **Scientific Reports**, v. 11 n. 9027, p. 1-10, Apr. 2021.
- ELNAGHY, A. M.; ELSAKA, S. E. Mechanical properties of ProTaper Gold nickel-titanium rotary instruments. **International Endodontic Journal**, v. 49, n. 11, p. 1073-1078, Oct. 2015.
- ELNAGHY, A. M., EISAKA, S. E.; MANDORAH, A. O. In vitro comparison of cyclic fatigue resistance of TruNatomy in single and double curvature canals compared with different nickel-titanium rotary instruments. **BMC Oral Health**, v. 38, n. 20, p. 1-8, Feb. 2020.
- FERREIRA, F. et al. Movement kinematics and cyclic fatigue of NiTi rotatory instruments: a systematic review. **International Endodontic Journal**, v. 50, n. 2, p. 143-152, Jan. 2016.
- GAVINI, G. et al. Nickel-titanium instruments in endodontics: a concise review of the state of the art. **Brazilian Oral Research**, v. 32, n. S1, p. 44+, Oct. 2018.
- GAMBARINI G. et al. Classification and cyclic fatigue evaluation of new kinematics for endodontic instruments. **Australian Endodontic Journal**, v. 45, n. 2, p. 154-162. Aug. 2018.
- HAMDY, T. M.; GALAL, M.; ISMAIL, A. G.; ABDELRAOUF, R. M. Evaluation of flexibility, microstructure and elemental analysis of some contemporary nickel-titanium rotary instruments. **Macedonian Journal of Medical Sciences**, v. 21, n. 7, p. 3647-3654, Oct. 2019.
- KUZEKANANI, M. Nickel-Titanium rotary instruments: development of the single-file systems. **Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry**, v. 5, n. 8, p. 386-390, Aug. 2018.
- MARTINS J.N.R. et al. Design, Metallurgical Features, and Mechanical Behaviour of NiTi Endodontic Instruments from Five Different Heat-Treated Rotary Systems. **Materials**. v. 15, n. 3, p. 1009, Jan. 2022.
- ÖZYUREK, T. et al. Comparison of cyclic fatigue resistance and bending properties of two reciprocating nickel-titanium glide path files. **International Endodontic Journal**, v. 51, n. 9, p. 1047-1052, Feb. 2018.
- SAWANT, K.; PAWAR, A. M.; BANGA, K. S.; MACHADO, R.; KAROBARI, M. I.; MARYA, A.; MESSINA, P.; SCARDINA, G. A. Dentinal Microcracks after Root Canal Instrumentation

Using Instruments Manufactured with Different NiTi Alloys and the SAF System: A Systematic Review. **Applied Sciences**, v. 4984, n. 11, p. 1-18, May 2021.

SARICAM E.; KAYAOGLU G. Comparison of OneShape, 2Shape and One Curve endodontic instruments for debris and irrigant extrusion. **Dent Med Probl**, v. 57, n. 3, p. 255-259, Mar. 2020.

TOPCUOGLU, H. S.; TOPCUOGLU, G.; KAFDAG, H.E.; ARSLAN H. Cyclic fatigue resistance of new reciprocating glide path files in 45- and 60-degree curved canals. **International Endodontic Journal**, v. 51, n. 9, p. 1053-1058, Feb. 2018.

TOPCUOGLU, H. S.; TOPCUOGLU, G.; SMOOTH Q. Resistance to cyclic fatigue of PathFile, ScoutRaCe and ProGlider glide path files in an S-shaped canal. **International Endodontic Journal**, v. 51, n. 5, p. 509-514, Mar. 2017.

USLU, G et al. Cyclic fatigue resistance of R-Pilot, HyFlex EDM and PathFile nickel-titanium glide path files in artificial canals with double (S-shaped) curvature. **International Endodontic Journal**, v. 51, n. 5, p. 584-589, May 2018.

VELOZO, C. et al. Shaping ability of XP-endo Shaper and ProTaper Next in long oval-shaped canals: a micro-computed tomography study. **International Endodontic Journal**, v. 53, n. 7, p. 998-1006, Apr. 2020.

XAVIER, S. R. et al. Shaping ability of two root canal instrumentation systems in oval-shaped canals: A microcomputed tomography study. **Australian Endodontic Journal**, v. 47, n. 2, p. 252-259, Aug. 2021.

ZUPANC, J.; VAHDAT-PAJOUH, N.; SHEPHERD, E. New thermomechanically treated NiTi alloys: a review. **International Endodontic Journal**, v. 51, n. 10, p. 1088-1103, Mar. 2018.

ZANZA, A. et al. An update on nickel-titanium rotary instruments in endodontics: mechanical characteristics, testing and future perspective: an overview. **Bioengineering**, v. 8, n. 12, p. 1-18. Dec. 2021.