XXIX SEPE
Simpósio de Ensino, Pesquisa e Extensão
Teaching, Research and Extension Symposium
Presente e futuro:
uso consciente da Inteligência Artificial
Today and tomorrow:
the conscious use of Artificial Intelligence
E-book
ISBN 978-65-5852-415-1
20 A 22 DE OUTUBRO DE 2025
OCTOBER 20th to 22nd, 2025
UFN Universidade Franciscana Franciscan University

DOI: https://doi.org/10.48195/sepe2025.29721

TÉCNICAS DE REMOÇÃO DE INSTRUMENTOS FRATURADOS – UMA REVISÃO DE LITERATURA

Caroline Barbieri Augusti[1]*; Gabriele Dressler Maffini[2]; Gabriéli dos Santos Machado[3]; Miguel Claro de Ávila Rodrigues[4]; Flavia Marquezan[5]; Monica Pagliari Buligon[6]; Mariana Bello Bassotto[7]; Luahra Peserico[8]

RESUMO

Este estudo se propôs a revisar a literatura sobre as principais técnicas de remoção de instrumentos fraturados, comparando suas indicações, taxas de sucesso e limitações. Foi realizada uma revisão narrativa, com levantamento de referencial teórico na base de dados eletrônicos PubMed/MEDLINE. Foram selecionados 21 artigos, incluindo estudos clínicos, estudos laboratoriais, revisões sistemáticas e meta-análises e estudos retrospectivos e prospectivos. A literatura demonstra que fatores como localização, anatomia e curvatura do canal radicular, visualização e acessibilidade ao instrumento, comprimento e tipo do instrumento, raio de curvatura e experiência do operador influenciam diretamente a taxa de sucesso da remoção. A remoção de fragmentos é tecnicamente mais viável nos terços cervical e médio devido ao acesso facilitado, enquanto a presença no terço apical torna o procedimento mais complexo e menos previsível por suas limitações anatômicas e riscos associados. Os resultados da presente revisão demonstram que, entre as abordagens disponíveis para a remoção de instrumentos fraturados, dentre elas, métodos adesivos, trepanação, extração ativa e técnicas de fusão, além de abordagens cirúrgicas e as técnicas mecânicas — especialmente o uso do ultrassom — se destacam como as mais eficazes na prática clínica, devido à elevada taxa de sucesso, menor desgaste dentinário e maior segurança, enquanto métodos químicos apresentam eficácia limitada e a abordagem cirúrgica deve ser considerada apenas como último recurso. Podemos concluir que o conhecimento aprofundado dos mecanismos de fratura e das abordagens terapêuticas disponíveis é essencial para alcançar um prognostico favorável, já que

[1]Caroline Barbieri Augusti, Acadêmica do Curso de Odontologia da Universidade Franciscana – Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: caroline.augusti@ufn.edu.br. ORCID: 0009-0009-3348-819X

[2]Gabriele Dressler Maffini, Pós-graduanda na Uningá Eleva – gabrielemaffini96@gmail.com

[3]Gabriéli dos Santos Machado Acadêmica do Curso de Odontologia da Universidade Franciscana – Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: Machado.gabrieli@ufn.edu.br. ORCID: 0009-0005-4619-8264

[4]Miguel Claro de Ávila Rodrigues Acadêmico do Curso de Odontologia da Universidade Franciscana – Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: miguel.avila@ufn.edu.br. ORCID: 0009-0000-1944-032X

[5]Flávia Kolling Marquezan Docente do curso de Odontologia da Universidade Franciscana – Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: flavia.marquezan@ufn.edu.br. ORCID: 0000-0003-1505-2447

[6] Mônica Pagliarini Buligon Docente do curso de Odontologia da Universidade Franciscana – Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: monica.bello@ufn.edu.br. ORCID: 0000-0002-7998-5126

[7]Mariana Bello Bassotto Docente do curso de Odontologia da Universidade Franciscana – Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: mariana.bello@ufn.edu.br. ORCID: 0000-0002-1947-8958

[8] Luahra Peserico Docente do curso de Odontologia da Universidade Franciscana – Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: luahra.p@ufn.edu.br. ORCID: 0009-0000-1233-4647

a seleção e a técnica inadequada podem levar a complicações significativas, incluindo enfraquecimento estrutural da raiz devido a perda excessiva de
dentina e consequentemente o aumento do risco de fraturas radiculares, assim, ressalta-se a necessidade contínua de atualização profissional por parte do endodontista.

Palavras-chave: Endodontia; Fratura de instrumentos; Remoção de instrumentos

INTRODUÇÃO

A fratura de instrumentos no sistema de canais radiculares (SCR) representa um desafio significativo na endodontia, comprometendo a limpeza, a modelagem do canal e, consequentemente, o prognóstico do tratamento endodôntico (Lin; Rosnberg; Lin, 2005; Spili; Parashos; Messer, 2005). Estudos clínicos indicam uma incidência entre 2% e 6% (D'arcangelo; Varvara; De Fazio, 2000; Suter; Lussi; Sequeira, 2005), sendo mais comum em molares, que concentram de 77% a 89% dos casos relatados (D'arcangelo; Varvara; De Fazio, 2000). Essa prevalência está relacionada à anatomia complexa desses dentes, que aumenta o estresse mecânico sobre os instrumentos. A relevância clínica do problema é destacada por um estudo no Reino Unido, no qual 88,8% dos dentistas relataram já ter enfrentado pelo menos um caso de fratura de instrumento ao longo da carreira (Madarati; Watts; Qualtrough, 2008).

Diante da alta incidência de fraturas instrumentais, é fundamental compreender os tipos de instrumentos mais suscetíveis e os fatores que contribuem para esse evento. Limas endodônticas, brocas Peeso, Gates-Glidden, compactadores termomecânicos e espirais Lentulo estão entre os fragmentos mais frequentemente encontrados no canal radicular. A etiologia é multifatorial, envolvendo uso inadequado, limitações físicas do instrumento, anatomias complexas — como canais curvos e estreitos —, acesso restrito e, em alguns casos, falhas de fabricação (Amza *et al.,* 2020).

A compreensão das propriedades dos materiais é essencial para a escolha adequada dos instrumentos e para a adoção de estratégias que reduzam o risco de fratura durante o tratamento endodôntico. As características mecânicas influenciam diretamente o desempenho clínico e a resistência dos instrumentos. A seção quadrangular das limas K-File proporciona maior resistência à torção e flexão, além de melhor sensibilidade tátil, devido aos quatro pontos de contato com as paredes do canal, sendo indicada especialmente para canais estreitos. No entanto, a rigidez do aço inoxidável pode levar a complicações clínicas indesejadas (Roane; Sabala; Ducanson, 1985), o que motivou o desenvolvimento dos instrumentos de Níquel-Titânio (NiTi), com vantagens mecânicas superiores.

O NiTi possui módulo de elasticidade reduzido, permitindo maior deformação sem danos permanentes (Glosson *et al.,* 1995). Sua flexibilidade é aproximadamente três vezes superior à do aço inoxidável, favorecendo um desempenho clínico mais eficiente (Serene; Adams; Saxena, 1995). No entanto, mesmo com essas vantagens, fraturas inesperadas ainda podem ocorrer por sobrecarga torcional ou fadiga cíclica, representando um desafio no tratamento endodôntico (Pruet; Clement; Carnes, 1997; Patino *et al.,* 2005). A fratura de instrumentos pode ocorrer por torção — quando a ponta fica presa e a haste continua girando, ultrapassando o limite elástico do material — ou por fadiga, 8 resultantes de tensões cíclicas em canais curvos, que levam à nucleação e propagação de trincas (Serene; Adams; Saxena, 1995; Pruet; Clement; Carnes, 1997; Lopes; Moreira; Elias, 2007). Enquanto o aço inoxidável costuma apresentar sinais visíveis antes da falha, os instrumentos de NiTi se rompem subitamente, sendo mais suscetíveis à fadiga rotacional, que representa de 44% a 91% das falhas clínicas (Mcguigan; Louca; Duncan, 2013; Wei *et al.,* 2007). Nesse caso, o número de ciclos e a intensidade das tensões, e não o torque, são os principais fatores de risco (Cheung, 2009). A decisão de remover o fragmento depende da localização, do impacto na desinfecção e dos

recursos disponíveis. Embora a permanência possa ser aceitável em alguns casos, a remoção é geralmente indicada (Mcguigan; Louca; Duncan, 2013). Com o avanço da microscopia operatória, ultrassom e dispositivos específicos, a extração tornou-se a abordagem preferencial, por aumentar a previsibilidade e preservar a estrutura dentária (Madarati; Hunter; Dummer, 2013). Diversas técnicas têm sido empregadas para a remoção de instrumentos fraturados, incluindo métodos mecânicos, adesivos, trepanação, extração ativa e técnicas de fusão, além de abordagens cirúrgicas (Gencoglu; Helvacioglu, 2009; Tsesis *et al*., 2009).

No entanto, apesar dos avanços, ainda há controvérsias quanto à eficácia e previsibilidade dessas abordagens, especialmente diante de variáveis como localização do fragmento, tipo de instrumento e risco de complicações. Diante dessa lacuna, este estudo visa revisar criticamente a literatura sobre as principais técnicas de remoção, comparando suas indicações, taxas de sucesso e limitações, com o objetivo de apoiar a prática clínica e a tomada de decisão do endodontista.

METODOLOGIA

Este estudo compreende uma revisão de literatura narrativa. Para a seleção dos estudos, foi realizada uma busca na base de dados eletrônicos PubMed/MEDLINE, utilizando os seguintes descritores: “endodontics” AND “fractured instrument” AND “instrument removal” AND “sucess”. A pesquisa foi conduzida em janeiro de 2025, resultando em 72 publicações. Na etapa seguinte, aplicaram-se critérios rigorosos de inclusão, abrangendo estudos clínicos (randomizados ou não randomizados) que avaliem técnicas de remoção de instrumentos fraturados, estudos laboratoriais (*in vitro e ex vivo*) que investiguem métodos de remoção e sua eficácia, revisões sistemáticas e meta-análises sobre o tema e estudos retrospectivos e prospectivos que avaliem o sucesso das abordagens de remoção. Dentre os critérios de exclusão, foram considerados: relatos de caso isolados sem análise comparativa estudos sem metodologia clara ou sem dados objetivos sobre técnicas de remoção e artigos duplicados. Além disso, foram considerados apenas artigos publicados em língua inglesa, sem restrição de data. Inicialmente, os títulos e resumos dos artigos identificados foram triados de acordo com os critérios de elegibilidade. Em seguida, os estudos selecionados foram analisados integralmente, considerando aspectos como técnica de remoção avaliada, taxa de sucesso, preservação da estrutura dentária, tempo de remoção e complicações associadas. Após essa triagem, foram incluídos 21 estudos na revisão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A remoção de instrumentos fraturados no interior dos canais radiculares representa um dos grandes desafios clínicos na endodontia, exigindo técnicas e materiais que equilibrem eficácia e preservação da estrutura dentária. A abordagem para essa complicação indesejada deve ser fundamentada em um conhecimento aprofundado de todas as opções de tratamento, equilibrando cuidadosamente as taxas de sucesso com os riscos potenciais associados tanto à remoção quanto à permanência do fragmento. Diversos métodos têm sido investigados, incluindo o uso de pontas ultrassônicas, dispositivos de alça, sistemas de remoção mecânica e abordagens minimamente invasivas. O ultrassom é amplamente reconhecido como método eficaz para a remoção de instrumentos fraturados, com bons resultados nos terços coronário e médio do canal radicular. No entanto, sua eficácia reduz-se no terço apical, onde a anatomia mais complexa e a proximidade com a parede radicular elevam o risco de perfurações e perda excessiva de dentina (Souter; Messer, 2005; Terauchi *et al,.* 2021). Fu *et al* (2021) alertam que, além de ampliar o canal, a ação ultrassônica pode comprometer a resistência radicular, aumentando o risco de fraturas, sobretudo em canais finos e curvos. Outros desafios incluem o

superaquecimento e a fratura das pontas ultrassônicas, especialmente em anatomias curvadas (Terauchi *et al,.* 2013). Garg e Grewal (2016), por meio de tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT), observaram significativa perda dentinária após remoção de fragmentos com as pontas EMS e ProUltra, particularmente em canais curvos. De forma semelhante, Abdeen *et al* (2023) demonstraram que a extensão da perda estrutural varia de acordo com a técnica utilizada, reforçando a importância de abordagens conservadoras para preservar a integridade do dente.

A associação entre o ultrassom e sistemas mecânicos, como trefinas, tem sido explorada como alternativa para otimizar a remoção de instrumentos fraturados. No entanto, o uso de trefinas pode levar à remoção excessiva de dentina e aumentar o risco de perfuração radicular, sobretudo em canais finos e curvos (Portela *et al.,* 2022). Kumar *et al.,* (2021) relataram 100% de sucesso utilizando a combinação do Sistema Terauchi com a ponta ultrassônica Satelec ET25, com desgaste dentinário reduzido. De forma semelhante, Pruthi *et al* (2020) compararam o ultrassom ao Kit TFRK, obtendo taxas de sucesso de 90% e 95%, respectivamente. Terauchi *et al* (2007) também demonstraram que o sistema FRS foi superior ao Kit Masserann, permitindo a remoção dos fragmentos com menor comprometimento estrutural. Esses resultados reforçam a importância da escolha de protocolos que equilibrem eficiência na remoção com preservação da integridade dentinária. Ruddle (2004) propôs um protocolo sistemático para a remoção de instrumentos fraturados, fundamentado em uma abordagem meticulosa e conservadora, com foco na preservação da estrutura radicular e na redução do risco de perfurações.

Entre as estratégias descritas, destaca-se a criação de uma staging platform — uma superfície plana e circular obtida por meio da modificação da ponta de brocas Gates Glidden — que permite o posicionamento seguro da ponta ultrassônica lateralmente ao fragmento, facilitando sua desobstrução. Essa técnica, amplamente conhecida como "técnica de Ruddle modificada", é considerada um marco no refinamento dos protocolos de retratamento endodôntico, ao integrar magnificação e energia ultrassônica para maximizar a precisão e a segurança do procedimento. Complementando esse panorama, Ruddle (2004) atualizou os princípios da remoção de instrumentos fraturados com base em novas tecnologias e demandas clínicas. O autor destaca a importância da avaliação individualizada, considerando posição, tamanho do fragmento e anatomia radicular. Embora o ultrassom permaneça como técnica primária, métodos alternativos como o sistema FRS, microtubos com cunhas rosqueáveis e adesivos fotopolimerizáveis também são discutidos.

Quando a remoção não é segura, o by-pass ou o selamento adequado do sistema de canais pode ser considerado. Assim, as contribuições de Ruddle ampliam as possibilidades terapêuticas diante da fratura de instrumentos. O bypass é uma abordagem conservadora que permite manter o fragmento no canal, viabilizando a instrumentação e obturação sem necessidade de remoção. Contudo, pode comprometer a desinfecção do sistema, favorecendo a persistência bacteriana e afetando negativamente o prognóstico (Madarati; Qualtrough; Watts, 2010). Enquanto alguns autores defendem a remoção como prioridade para reduzir o risco de falha endodôntica (Terauchi *et al.,* 2021), outros alertam para os danos associados à tentativa de extração, como fraturas radiculares e perda significativa de dentina (Fu; Zhang; Hou, 2011).

Outra estratégia minimamente invasiva em investigação é o uso do laser Nd:YAG, que promove a remoção de fragmentos por meio da vaporização controlada das adesões. Embora demonstre potencial na preservação da estrutura radicular — ao minimizar o desgaste dentinário e reduzir o risco de perfuração — sua eficácia clínica ainda requer validação por meio de estudos adicionais (Namour *et al.,* 2024). A aplicação do laser, contudo, exige protocolos rigorosos para evitar elevação térmica excessiva e danos aos tecidos periapicais. Em paralelo, um estudo retrospectivo conduzido por Malentacca *et al* (2023), com acompanhamento de 30 anos, avaliou a técnica da agulha espinhal e demonstrou altas taxas de sucesso na remoção de

fragmentos com mínima perda dentinária, reforçando seu valor como alternativa conservadora, especialmente em casos de maior complexidade. Wohlgemuth *et al* (2015) avaliaram o sistema GentleWave na remoção de instrumentos fraturados, demonstrando que sua ação hidrodinâmica reduz a perda dentinária e melhora as taxas de sucesso em relação às técnicas convencionais. A abordagem também se mostrou eficaz na limpeza de canais complexos, com mínima agressão à estrutura dentária.

Há divergências na literatura quanto à eficácia de técnicas alternativas, como sistemas de microtubos e loop, que oferecem menor risco de dano estrutural, mas nem sempre são eficazes na remoção de fragmentos profundos (Portela *et al.,* 2022). No caso dos microtubos, fatores como a morfologia do canal e a adesão do fragmento ao material de fixação influenciam diretamente o sucesso. Em canais curvos, a dificuldade de adaptação do tubo pode comprometer a remoção (Olczak; Grabarczyk; Szymański, 2023; Bürklein *et al.,* 2019). Além disso, o uso de adesivos ou compósitos auto polimerizáveis traz o risco de extravasamento e aderência indesejada às paredes dentinárias, dificultando o procedimento (Dioguardi *et al.,* 2024). O uso de adesivos com alta resistência, como o Prime & Bond, associado a técnicas que garantam colagem controlada, pode melhorar os resultados. A literatura sugere que a permanência de fragmentos pode ser aceitável quando o canal é adequadamente desinfetado e obturado (Madarati; Qualtrough; Watts, 2010). No entanto, essa conduta pode elevar o risco de infecção persistente e falha endodôntica a longo prazo (Terauchi *et al.,* 2021). Quando as abordagens convencionais não são eficazes, a remoção cirúrgica torna-se uma alternativa viável, embora mais invasiva e dependente de maior habilidade técnica (Alomairy, 2009).

A taxa de sucesso na remoção de instrumentos fraturados depende de diversos fatores, como localização do fragmento, anatomia e curvatura do canal, tipo e comprimento do instrumento, visibilidade e experiência do operador (Kumar *et al.,* 2021). A posição do fragmento é especialmente determinante: enquanto aqueles nos terços cervical e médio são mais acessíveis e previsíveis, os localizados no terço apical impõem maior desafio técnico devido ao espaço restrito, à curvatura acentuada e ao risco de perfuração (Pruthi *et al.,* 2020; SIRA et al., 2025). Estudos mostram taxas de sucesso acima de 80% em regiões favoráveis, mas no terço apical o índice de insucesso pode ultrapassar 50%, sobretudo em canais curvos ou com técnicas inadequadas (Madarati; Hunter; Dummer, 2013).

A visibilidade do fragmento é um fator preditivo chave para o sucesso da remoção. Quando visualizado sob magnificação, o controle e a acessibilidade são maiores, elevando as chances de êxito. Nevares et al. (Nevares *et al.,* 2012) observaram que a taxa de sucesso foi cerca de duas vezes maior em casos com visibilidade direta do fragmento. A anatomia dentária afeta diretamente a remoção de fragmentos. Dentes posteriores, com curvaturas acentuadas e concavidades radiculares, tornam o procedimento mais complexo e arriscado, especialmente pela limitação das radiografias bidimensionais (Cujé; Bargholz; Hülsmann, 2010). A abertura bucal reduzida dificulta o acesso aos molares inferiores, enquanto, nos superiores, a gravidade pode favorecer a movimentação coronária do fragmento.

O comprimento do fragmento influencia diretamente a complexidade e o tempo do procedimento. Fragmentos longos (>3,1 mm) e canais com curvatura >30° aumentam significativamente o tempo de remoção (Fu; Zhang; Hou, 2011). Enquanto fragmentos menores (5,7 mm) podem exigir técnicas complementares para um desfecho viável (Terauchi *et al.,* 2021). A curvatura do canal é um fator crítico para o sucesso na remoção de instrumentos. Quando a curvatura excede 20°, a taxa de sucesso pode cair de 83% para 43% (Cujé; Bargholz; Hülsmann, 2010; Shen; Peng; Cheung, 2004). Canais com curvatura menor e raio superior a 4 mm oferecem maior previsibilidade (Cujé; Bargholz; Hülsmann, 2010, Alomairy, 2009; Estrela *et al.,* 2008). A remoção é mais eficaz quando o fragmento está antes da curvatura, moderada na curvatura e muito reduzida quando além dela (Iqbal; Kohli; Kim, 2006; Ward; Parashos; Messer, 2003). A experiência do operador é decisiva para o sucesso na remoção de

instrumentos. Profissionais menos experientes tendem a remover mais dentina, elevando o risco de perfuração (Terauchi *et al.,* 2007). Já operadores experientes adaptam melhor a técnica à anatomia do caso, reduzindo o tempo clínico e os riscos associados (Mrinalini *et al.,* 2024). Apesar da ampla literatura disponível, algumas limitações devem ser consideradas. A maioria dos estudos é in vitro, o que reduz a aplicabilidade clínica por não refletir com precisão as complexidades da prática real (Portela Et Al., 2022; Terauchi; Ali; Abielhassan, 2022).

Além disso, a falta de padronização nos protocolos de remoção, técnicas e critérios de sucesso compromete a comparabilidade entre os estudos e dificulta o estabelecimento de diretrizes clínicas consistentes (Terauchi; Ali; Abielhassan, 2022). O avanço de tecnologias minimamente invasivas para a remoção de instrumentos fraturados permanece uma prioridade na endodontia, visando preservar a estrutura dentária e reduzir a remoção excessiva de dentina. Paralelamente, o aprimoramento da capacitação profissional, por meio de treinamentos específicos e uso da microscopia operatória, é fundamental para aumentar a previsibilidade do procedimento e minimizar riscos.

CONCLUSÃO

Os achados da revisão ressaltam a importância de uma abordagem individualizada na seleção da técnica de remoção, considerando fatores como localização do fragmento, visibilidade, tipo de dente, comprimento do instrumento, curvatura do canal e experiência do operador. A seleção e a técnica inadequada podem levar a complicações significativas, incluindo enfraquecimento estrutural da raiz devido a perda excessiva de dentina e consequentemente o aumento do risco de fraturas radiculares. Técnicas mais conservadoras, como o bypass e o uso de ultrassom assistido por microscopia, devem ser priorizadas sempre que possível para evitar danos irreversíveis à raiz dentária.

REFERÊNCIAS

ABDEEN, M. A.; PLOTINO, G.; HASSANIEN, E. E.; TURKY, M. Evaluation of dentine structure loss after separated file retrieval by three different techniques: an ex vivo study. **Eur Endod J,** v. 8, n. 3, p. 225–230, 2023.

ALOMAIRY, K. H. Evaluating two techniques on removal of fractured rotary nickel titanium endodontic instruments from root canals: an in vitro study. **J Endod,** v. 35, p. 559–562, 2009.

AMZA, O.; DIMITRIU, B.; SUCIU, I.; BARTOK, R.; CHIRILA, M. Etiology and prevention of an endodontic iatrogenic event: instrument fracture. **J Med Life,** v. 13, p. 378–381, 2020.

ARAKAWA, S.; COBB, C. M.; RAPLEY, J. W.; KILLOY, W. J.; SPENCER, P. Treatment of root fracture by CO_2 and Nd:YAG lasers: an in vitro study. **J Endod,** v. 22, p. 662–667, 1996.

BÜRKLEIN, S.; DONNERMEYER, D.; WEFELMEIER, M.; SCHÄFER, E.; URBAN, K. Removing fractured endodontic NiTi instruments with a tube technique: influence of pre-treatment with various agents on adhesive forces in vitro. **Materials,** v. 13, n. 1, p. 144, 2019.

CHEUNG, S. P. G. Instrument fracture: mechanisms, removal of fragments, and clinical outcomes. **Endodontic Topics,** v. 16, n. 1, p. 1–26, 2009.

CUJÉ, J.; BARGHOLZ, C.; HÜLSMANN, M. The outcome of retained instrument removal in a specialist practice. **Int Endod J,** v. 43, p. 545–554, 2010.

DIOGUARDI, M.; LANEVE, E.; LAFORGIA, R.; CALZAVARA, G.; SOCCIO, L.; CIAVARELLA, D.; LO MUZIO, L. Analysis of endodontic successes and failures in the removal of fractured endodontic instruments during retreatment: a systematic review, meta-analysis, and trial sequential analysis. **Healthcare,** v. 12, n. 14, p. 1390, 2024.

ESTRELA, C.; BUENO, M. R.; SOUSA-NETO, M. D.; PÉCORA, J. D. Method for determination of root curvature radius using cone-beam computed tomography images. **Braz Dent J,** v. 19, p. 114–118, 2008.

FU, M.; ZHANG, Z.; HOU, B. Removal of broken files from root canals by using ultrasonic techniques combined with dental microscope: a retrospective analysis of treatment outcome. **J Endod,** v. 37, p. 619–622, 2011.

GANDEVIVALA, A.; PAREKH, B.; POPLAI, G.; SAYED, A. Surgical removal of fractured endodontic instrument in the periapex of mandibular first molar. **J Int Oral Health,** v. 6, p. 85–88, 2014.

GARG, H.; GREWAL, M. S. Cone-beam computed tomography volumetric analysis and comparison of dentin structure loss after retrieval of separated instrument by using ultrasonic EMS and ProUltra tips. **J Endod,** v. 42, n. 11, p. 1693–1698, 2016.

GENCOGLU, N.; HELVACIOGLU, D. Comparison of the different techniques to remove fractured endodontic instruments from root canal systems. **Eur J Dent,** v. 3, p. 90–95, 2009.

GETTLEMAN, B. H.; SPRIGGS, K. A.; ELDEEB, M. E.; MESSER, H. H. Removal of canal obstructions with the Endo Extractor. **J Endod,** v. 17, p. 608–611, 1991.

GLOSSON, C. R.; HALLER, R. H.; DOVE, S. B.; DEL RIO, C. A comparison of root canal preparations using NiTi hand, NiTi engine driven and K-Flex endodontic instruments. **J Endod,** v. 21, p. 146–151, 1995.

HASHEM, A. Ultrasonic vibration: temperature rise on external root surface during broken instrument removal. **J Endod,** v. 33, p. 1070–1073, 2007.

IQBAL, M. K.; KOHLI, M. R.; KIM, J. S. A retrospective clinical study of incidence of root canal instrument separation in an endodontics graduate program: a PennEndo database study. **J Endod,** v. 32, p. 1048–1052, 2006.

KUMAR, B. S.; KRISHNAMOORTHY, S.; SHANMUGAM, S.; PRADEEPKUMAR, A. R. The time taken for retrieval of separated instrument and the change in root canal volume after two different techniques using CBCT: an in-vitro study. **Indian J Dent Res,** v. 32, n. 4, p. 489–494, 2021.

LIN, L. M.; ROSENBERG, P. A.; LIN, J. Do procedural errors cause endodontic treatment failure? **J Am Dent Assoc,** v. 136, p. 187–193, 2005.

LOPES, H. P.; MOREIRA, E. J. L.; ELIAS, C. N. et al. Cyclic fatigue of Protaper instruments. **J Endod,** v. 33, n. 1, p. 55–57, 2007.

MADARATI, A. A.; HUNTER, M. J.; DUMMER, P. M. Management of intracanal separated instruments. **J Endod,** v. 39, p. 569–581, 2013.

MADARATI, A. A.; QUALTROUGH, A. J.; WATTS, D. C. Effect of retained fractured instruments on tooth resistance to vertical fracture with or without attempt at removal. **Int Endod J,** v. 43, n. 11, p. 1047–1053, 2010.

MADARATI, A. A.; WATTS, D. C.; QUALTROUGH, A. J. Opinions and attitudes of endodontists and general dental practitioners in the UK towards the intracanal fracture of endodontic instruments: Part 1. **Int Endod J,** v. 41, p. 693–701, 2008.

MALENTACCA, A.; ZACCHEO, F.; RUPE, C.; LAJOLO, C. Endodontic clinical outcome after separated instrument removal using a spinal needle technique: a retrospective study of thirty years of clinical experience. **J Endod,** v. 49, n. 8, p. 980–989, 2023.

MCGUIGAN, M. B.; LOUCA, C.; DUNCAN, H. F. Clinical decision-making after endodontic instrument fracture. **Br Dent J,** v. 214, p. 395–400, 2013.

MCGUIGAN, M. B.; LOUCA, C.; DUNCAN, H. F. Endodontic instrument fracture: causes and prevention. **Br Dent J,** v. 214, p. 341–348, 2013.

MRINALINI, M.; MITTAL, N.; MITTAL, S.; BAJAJ, M.; KHERA, A.; KHERA, S. Microendodontics at different levels from routine to complex cases: a case series **Cureus,** [S.l.], v. 16, n. 9, p. e69372, 13 set. 2024.

NAGAI, O.; TANI, N.; KAYABA, Y.; KODAMA, S.; OSADA, T. Ultrasonic removal of broken instruments in root canals. **Int Endod J**, v. 19, p. 298–304, 1986.

NAMOUR, A.; EL MOBADDER, M.; MATAMBA, P.; MISOAGA, L.; MAGNIN, D.; ARANY, P.; NAMMOUR, S. The safety of removing fractured nickel–titanium files in root canals using a Nd:YAP laser. **Biomedicines,** v. 12, n. 5, p. 1031, 2024.

NEVARES, G.; CUNHA, R. S.; ZUOLO, M. L.; DA SILVEIRA BUENO, C. E. Success rates for removing or bypassing fractured instruments: a prospective clinical study. **J Endod,** v. 38, p. 442–444, 2012.

OKIJI, T. Modified usage of the Masserann Kit for removing intracanal broken instruments. **J Endod,** v. 29, p. 466–467, 2003.

OLCZAK, K.; GRABARCZYK, J.; SZYMAŃSKI, W. Removing fractured endodontic files with a tube technique—The strength of the glued joint: tube–endodontic file setup. **Materials,** v. 16, n. 11, p. 4100, 2023.

PATINO, P. V.; BIEDMA, B. M.; LIEBANA, C. R.; CANTATORE, G.; BAHILLO, J. G. The influence of manual glide path on separation rate of NiTi rotary instruments. **J Endod,** v. 31, p. 114–116, 2005.

PORTELA, N. N.; RECH, J. P.; MARCHIONATTI, A. M. E.; BARASUOL, J. C. Techniques to address fractured instruments in the middle or apical third of the root canal in human

permanent teeth: a systematic review of the in vitro studies. **Clin Oral Investig,** v. 26, n. 1, p. 131–139, 2022.

PRUET, J. P.; CLEMENT, D. J.; CARNES, D. L. Cyclic fatigue testing of nickel titanium endodontic instruments. **J Endod,** v. 23, p. 77–85, 1997.

PRUTHI, P. J.; NAWAL, R. R.; TALWAR, S.; VERMA, M. Comparative evaluation of the effectiveness of ultrasonic tips versus the Terauchi file retrieval kit for the removal of separated endodontic instruments**. Restor Dent Endod,** v. 45, n. 2, p. e14, 2020.

ROANE, J. B.; SABALA, C. L.; DUCANSON, M. G. The Balanced Force concept for instrumentation of curved canals. **J Endod,** v. 11, p. 203–211, 1985.

RUDDLE, C. J. Broken instrument removal: the endodontic challenge. **Dentistry Today,** v. 21, n. 7, p. 70–72, 74, 76, 2002.

RUDDLE, C. J. Nonsurgical retreatment. **J Endod,** v. 30, n. 12, p. 827–845, 2004.

SAUNDERS, J.; ELEAZER, P.; ZHANG, P.; MICHALEK, S. Effect of a separated instrument on bacterial penetration of obturated root canals. **J Endod,** v. 30, p. 177–179, 2004.

SERENE, T. P.; ADAMS, J. D.; SAXENA, A. **Nickel-Titanium instruments: applications in endodontics.** 1. ed. 1995. 112 p.

SHEN, Y.; PENG, B.; CHEUNG, G. S. Factors associated with the removal of fractured NiTi instruments from root canal systems. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod,** v. 98, p. 605–610, 2004.

SIRA, A.; NAWAR, N. N.; SABER, S. M.; KIM, H. C. The effect of different separated file retrieval strategies on the biomechanical behavior of a mandibular molar: a finite element analysis study. **J Endod,** v. 51, n. 1, p. 64–70, 2025.

SOUTER, N.; MESSER, H. Complications associated with fractured file removal using an ultrasonic technique. **J Endod,** v. 31, p. 450–452, 2005.

SPILI, P.; PARASHOS, P.; MESSER, H. H. The impact of instrument fracture on outcome of endodontic treatment. **J Endod,** v. 31, p. 845–850, 2005.

SUTER, B.; LUSSI, A.; SEQUEIRA, P. Probability of removing fractured instruments from root canals. **Int Endod J,** v. 38, p. 112–123, 2005.

TERAUCHI, Y.; ALI, W. T.; ABIELHASSAN, M. M. Present status and future directions: removal of fractured instruments. **Int Endod J,** v. 55, supl. 3, p. 685–709, 2022.

TERAUCHI, Y.; O'LEARY, L.; KIKUCHI, I.; ASANAGI, M.; YOSHIOKA, T.; KOBAYASHI, C.; SUDA, H. Evaluation of the efficiency of a new file removal system in comparison with two conventional systems. **J Endod,** v. 33, n. 5, p. 585–588, 2007.

TERAUCHI, Y.; SEXTON, C.; BAKLAND, L. K.; BOGEN, G. Factors affecting the removal time of separated instruments. **J Endod,** v. 47, n. 8, p. 1245–1252, 2021.

TSESIS, I.; FAIVISHEVSKY, V.; KFIR, A.; ROSEN, E. Outcome of surgical endodontic treatment performed by a modern technique: a meta-analysis of literature. **J Endod,** v. 35, p. 1505–1511, 2009.

WARD, J.; PARASHOS, P.; MESSER, H. Evaluation of an ultrasonic technique to remove fractured rotary nickel-titanium endodontic instruments from root canals: an experimental study. **J Endod,** v. 29, p. 756–763, 2003.

WEI, X.; LING, J.; JIANG, J. et al. Modes of failure of Protaper nickel-titanium rotary instruments after clinical use. **J Endod,** v. 33, n. 3, p. 276–279, 2007.

WOHLGEMUTH, P.; CUOCOLO, D.; VANDRANGI, P.; SIGURDSSON, A. Effectiveness of the GentleWave system in removing separated instruments. **J Endod,** v. 41, n. 11, p. 1895–1898, 2015.

YANG, Q.; SHEN, Y.; HUANG, D.; ZHOU, X.; GAO, Y.; HAAPASALO, M. Evaluation of two trephine techniques for removal of fractured rotary nickel-titanium instruments from root canals. **J Endod,** v. 43, p. 116–120, 2017.