

Inteligência Artificial em Radiologia Odontológica: Avanços Tecnológicos no Apoio às Investigações Forenses *

Artificial Intelligence in Dental Radiology: Technological Advancements in Supporting Forensic Investigations *

Clayton Sidney de Almeida Vergara¹

1 Perito Pesquisador da Sociedade Brasileira de Ciências Forense - SBCF. Tecnólogo em Radiologia. Pós-graduado em Diagnóstico por Imagem/Pós-graduado em Ciência Forense e Perícia Criminal/Pós-graduando em Anatomia e Patologia Associada/Pós-graduando em Gestão em Saúde Hospitalar, Clínica e de Postos de Saúde/Técnico em Radiologia Odontológica e Perito em Radiologia Legal.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3339-358X>

* artigo escrito em Português (Brasil)

Resumo

O artigo explora a integração da inteligência artificial (IA) na odontologia forense, destacando seu papel no aprimoramento da identificação de vítimas em investigações. A IA é definida como a capacidade de sistemas computacionais simularem funções cognitivas humanas, e sua aplicação na odontologia inclui técnicas avançadas como radiografias e tomografias, ressaltando a importância de métodos de imagem, como radiografias periapicais, panorâmicas e tomografias computadorizadas, que, quando combinados com algoritmos de IA, permitem análises mais rápidas e precisas. O uso de fotogrametria e digitalização 3D para criar modelos tridimensionais a partir de imagens 2D/3D de crânios e dentes é destacado, permitindo a reconstrução digital de restos mortais para análise forense sem intervenção física, através da técnica Virdentopsy®. A pesquisa também menciona os protocolos da Interpol para Identificação de Vítimas de Desastres (DVI). A discussão enfatiza a necessidade de uma equipe multidisciplinar, incluindo radiologistas, tecnólogos e técnicos em radiologia, além dos desafios éticos envolvidos na utilização da IA, destacando a importância da privacidade e dignidade dos indivíduos. Os resultados mostram a eficiência da IA em automatizar a análise de características dentárias, melhorando a identificação ante e post-mortem, especialmente em desastres em massa. A conclusão reforça que a adoção responsável da IA, aliada à formação contínua de profissionais, é crucial para garantir práticas forenses que respeitem os direitos humanos e promovam a justiça, destacando que a colaboração entre diferentes áreas é fundamental para avançar na identificação forense e assegurar que cada vítima receba o respeito que merece.

Abstract

This article explores the integration of Artificial Intelligence (AI) in forensic dentistry, highlighting its role in enhancing victim identification during investigations. AI is defined as the ability of computational systems to simulate human cognitive functions, and its application in dentistry includes advanced techniques such as radiographs and tomography, emphasizing the importance of imaging methods like periapical radiographs, panoramic X-rays, and computed tomography. When combined with AI algorithms, these imaging techniques enable faster and more accurate analyses. The use of photogrammetry and 3D scanning to create three-dimensional models from 2D/3D images of skulls and teeth is also highlighted, allowing for the digital reconstruction of human remains for forensic analysis without physical intervention, through the Virdentopsy® technique. The article further mentions the Interpol protocols for Disaster Victim Identification (DVI). The discussion stresses the need for a multidisciplinary team, including radiologists, technologists, and radiology technicians, as well as the ethical challenges associated with AI use, particularly regarding privacy and dignity. The results demonstrate AI's efficiency in automating the analysis of dental characteristics, improving ante- and post-mortem identification, especially in mass disasters. The conclusion emphasizes that the responsible adoption of AI, coupled with ongoing professional training, is essential to ensure forensic practices that respect human rights and promote justice, highlighting that collaboration across different fields is crucial to advancing forensic identification and ensuring that every victim receives the respect they deserve.

Palavras-chave: Inteligência Artificial, Radiologia Odontológica Forense, Autópsia Virtual dentária, Métodos de Imagem Radiológica.

Keywords: Artificial Intelligence, Forensic Dental Radiology, Virtual Dental Autopsy, Radiological Imaging Methods.

Introdução

A inteligência artificial (IA) está transformando a radiologia odontológica, especialmente nas investigações forenses, onde a precisão e a eficiência na análise de imagens são cruciais para a identificação de vítimas e a resolução de casos legais complexos. Tecnologias emergentes, como a Virdentopsy®, que utiliza imagens 2D e 3D para autópsias virtuais, têm ampliado significativamente as capacidades investigativas ao permitir a visualização detalhada de estruturas dentárias e faciais, essencial em cenários onde a análise convencional é insuficiente (Da Luz Silva, Wendell et al., 2023).

A IA, por meio de algoritmos de aprendizado profundo, tem demonstrado uma notável capacidade de detectar anomalias e classificar imagens radiográficas, muitas vezes superando a acurácia da análise humana. Estudos mostram que sistemas baseados em IA podem identificar características dentárias únicas e lesões com uma taxa de precisão elevada, o que é vital em investigações forenses (Nery, Laura Capuano.2023). A combinação de IA com tecnologias avançadas de imagem, como a tomografia computadorizada, possibilita a criação de modelos tridimensionais detalhados, facilitando investigações mais profundas e precisas (Chamberlain, A., de Azevedo Flor, et al., 2023). Além disso, a aplicação da IA em consonância com os protocolos da Interpol para Identificação de Vítimas de Desastres (DVI) acelera o processo de identificação, permitindo comparações rápidas e eficientes entre registros dentários e imagens de vítimas (Borges, C., C. A. B. V. (2023).

Com a automação de processos que reduzem a margem de erro humano, os odontologistas forenses podem se concentrar em tarefas que requerem maior interpretação e análise crítica, transformando significativamente a dinâmica das investigações. Assim, a convergência entre IA e técnicas radiológicas não só melhora a eficácia das investigações, mas também estabelece um novo padrão de confiabilidade e agilidade, impactando diretamente na justiça e na segurança pública em contextos forenses contemporâneos (De Oliveira Ramos, Rodrigo Machado et al.2024).

Métodos de Imagem em Radiologia Odontológica Forense

Os métodos de imagem em radiologia odontológica desempenham um papel crucial tanto no diagnóstico clínico quanto na investigação forense. Na odontologia forense, a capacidade de capturar e analisar imagens detalhadas de estruturas dentárias e maxilofaciais é essencial para a identificação de vítimas, detecção de traumas e investigação de crimes violentos. A tabela abaixo resume os principais métodos de imagem utilizados na prática odontológica forense e suas aplicações no contexto investigativo.

Tabela 1: Métodos de Imagem em Radiologia Odontológica Forense

Método de Imagem	Descrição	Aplicações Forenses	Vantagens	Limitações
Radiografia Periapical	Imagem detalhada de um ou mais dentes, incluindo coroas, raízes e osso alveolar.	Identificação de características dentárias (restaurações, cáries, lesões) e comparação ante e post-mortem.	Alta resolução das estruturas dentárias; fácil de realizar e custo relativamente baixo.	Limitação à área de cobertura (um ou poucos dentes por vez).
Radiografia Panorâmica	Captura uma visão ampla da arcada dentária, mandíbula e maxila.	Usada para comparação ante e post-mortem em casos de identificação forense de vítimas.	Visualização completa da arcada dentária em uma única imagem.	Menor resolução de detalhes finos em comparação com a periapical
Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (TCFC)	Fornecer imagens tridimensionais detalhadas das estruturas dentárias e ósseas.	Análise tridimensional de fraturas, lesões ósseas e traumas craniofaciais; base para reconstrução digital (VirDentopsy®).	Alta resolução espacial isotrópica, permitindo análise detalhada de pequenas lesões.	Custo mais elevado e maior exposição à radiação em comparação com métodos bidimensionais.
Tomografia Computadorizada (TC)	Imagens tridimensionais de tecidos moles e duros em cortes axiais, coronais e sagitais.	Avaliação de traumas craniofaciais e reconstrução tridimensional de crânios e arcadas dentárias.	Excelente visualização de traumas complexos e análise de fraturas em profundidade.	Alto custo e maior dose de radiação; não tão detalhada para estruturas dentárias finas quanto a TCFC.
Fotogrametria e Digitalização 3D	Criação de modelos tridimensionais a partir de imagens 2D/3D de crânios e dentes.	Reconstrução digital de restos mortais para análise forense sem intervenção física (VirDentopsy®).	Captura de detalhes tridimensionais para modelagem e comparações detalhadas.	Requer equipamento especializado e software avançado para processamento das imagens.

Esses métodos, quando combinados com algoritmos de IA, podem ser significativamente aprimorados, permitindo uma análise mais rápida e precisa, além de facilitar a comparação de imagens ante e post-mortem em investigações forenses complexas (Disaster Victim Identification. Protocolos da Interpol.2024).

Metodologia

A metodologia deste estudo foi estruturada em três etapas principais: revisão de literatura, análise de dados e discussão dos resultados. Inicialmente, realizou-se uma busca sistemática em bases de dados como PubMed, Scielo e Google Acadêmico, utilizando os descritores "Inteligência Artificial", "Radiologia Odontológica Forense", "Autópsia Virtual Dentária" e "Métodos de Imagem Radiológica", abrangendo publicações de 2021 até outubro de 2024. Foram selecionados artigos que abordassem a aplicação da IA em odontologia forense, a eficácia de métodos de imagem na identificação de vítimas e os aspectos éticos envolvidos. Em seguida, os artigos selecionados foram analisados qualitativamente, buscando informações sobre a integração da inteligência artificial com técnicas radiológicas, como radiografias periapicais, panorâmicas e tomografias computadorizadas, avaliando a eficácia de cada método em contextos de identificação de vítimas, considerando

precisão, rapidez e aplicabilidade na prática forense. Por fim, os resultados obtidos foram discutidos em um contexto multidisciplinar, envolvendo especialistas em odontologia, radiologia e ética, enfatizando a importância da colaboração entre diferentes áreas para maximizar a eficiência das técnicas de imagem na odontologia forense e respeitar os princípios éticos, garantindo a dignidade dos indivíduos envolvidos, com conclusões elaboradas com base nas evidências coletadas e destacando a relevância da adoção responsável da inteligência artificial nas práticas forenses.

Resultados e Discussão

A identificação de restos mortais humanos requer uma equipe multidisciplinar de especialistas forenses, utilizando métodos que variam conforme o estado do corpo. Os principais incluem impressões digitais, DNA, dados dentários e características físicas, como tatuagens e cicatrizes. Embora o reconhecimento visual não seja considerado um método confiável devido ao risco de erro, ele pode auxiliar em uma identificação preliminar quando combinado com outros elementos, como pertences pessoais ou relatos de testemunhas. Entretanto, os métodos mais precisos, como análise de impressões digitais, DNA e registros odontológicos, são amplamente utilizados para garantir uma identificação correta. Identificar adequadamente um corpo é crucial não apenas para proporcionar aos familiares a oportunidade de luto, mas também para resolver questões legais, como seguros e emissão de certidões de óbito, além de garantir o respeito à dignidade dos restos mortais. (Porto, L. L. 2023). A análise odontológica desempenha um papel essencial nesse processo, permitindo a comparação de dados dentários coletados dos restos mortais com registros de pessoas desaparecidas. Durante a autópsia dentária, os odontologistas forenses obtêm informações detalhadas sobre dentes, maxila e mandíbula, além de realizarem escaneamentos 3D dos tecidos moles faciais quando possível, contribuindo para a criação de um perfil biológico preliminar que fornece dados valiosos sobre sexo, idade, origem geográfica e outros fatores. A identificação de vítimas, especialmente em desastres de massa (DVI), envolve a comparação de dados coletados antes e depois da morte, e a correta coleta e análise dessas informações exigem a expertise de odontologistas forenses. Nos últimos anos, a odontologia forense tem sido significativamente transformada por inovações tecnológicas, como impressão 3D, inteligência artificial (IA) e técnicas avançadas de análise de DNA, que alteraram substancialmente a condução de investigações forenses. A impressão 3D possibilita a criação de modelos detalhados de estruturas dentárias e ósseas, facilitando a visualização e a comparação com registros existentes, enquanto a IA automatiza a análise de grandes volumes de dados, permitindo a identificação de padrões que não são facilmente discerníveis. A análise de DNA extraído de dentes se revela particularmente útil em contextos de degradação extrema, funcionando como uma fonte viável de material genético. A combinação da análise de DNA com registros dentários amplia consideravelmente as capacidades de identificação, tornando a odontologia forense um recurso crucial em situações de desastres em massa. Apesar dessas inovações, a área enfrenta desafios éticos e legais, onde a proteção da privacidade das vítimas e o respeito à dignidade humana são princípios fundamentais. A formação contínua em ética e conformidade legal é essencial para preparar os profissionais para lidar com dilemas morais e garantir que as práticas se alinhem às exigências legislativas. Além disso, a documentação rigorosa dos procedimentos e achados é vital para assegurar a verificação e admissibilidade dos resultados em tribunal, promovendo, assim, a confiança nas identificações forenses. Por fim, a odontologia forense desempenha um papel importante na educação pública, ressaltando a responsabilidade dos profissionais em conscientizar sobre a importância e as limitações das práticas forenses, o que é fundamental para estabelecer a confiança da sociedade nas investigações. (Oliveira, T. F. M. D. 2024).. No entanto, a disponibilidade desses profissionais nem sempre é garantida, especialmente em situações de emergência ou áreas remotas. A pandemia de COVID-19 trouxe desafios adicionais, tanto práticos quanto em treinamentos. Nesse contexto, a teleodontologia surge como uma solução viável, permitindo consultas e treinamentos remotos. Por meio dela, dentistas podem realizar exames à distância e ampliar seus conhecimentos sobre anatomia craniana, facilitando a atuação em casos forenses. O conceito de autópsias virtuais, introduzido em 2003 como alternativa não invasiva, utiliza tomografia computadorizada, ressonância magnética e outras técnicas de imagem para o exame detalhado de corpos, e, embora a teleodontologia e as autópsias virtuais ainda não sejam amplamente utilizadas em contextos humanitários, projetos inovadores têm explorado essas possibilidades. Um exemplo é o projeto "Virdentopsy", iniciado em 2020 pelo Laboratório de Identificação Humana da Universidade de Turim, que oferece serviços de autópsia dentária remota, mesmo sem a presença de um odontologista forense no local, promovendo também o uso de teleconsultas forenses para facilitar a identificação à distância, respeitando as melhores práticas da odontologia forense. O projeto visa integrar as áreas de patologia, odontologia, antropologia e arqueologia, com um compromisso com os direitos humanos e a odontologia forense humanitária. (Nuzzolese, E. 2021). (A integração da inteligência artificial (IA) com os protocolos da Interpol para a Identificação de Vítimas de Desastres (DVI) reforça a importância da análise de registros dentários e radiografias como um

método fundamental de identificação. Em situações de desastres em massa, como terremotos e acidentes aéreos, (Oliveira, T. F. M. D. 2024). A IA tem desempenhado um papel crucial na automatização da análise de características dentárias, únicas para cada indivíduo. Isso torna a IA uma ferramenta confiável, mesmo quando outros métodos apresentam limitações. Tradicionalmente, a comparação de imagens ante e post-mortem era demorada e sujeita a falhas humanas, mas, com o uso de algoritmos de IA, essa análise tornou-se mais rápida e precisa, proporcionando avanços importantes na identificação forense eventos, como a direção do impacto e a intensidade da força aplicada. Nos casos de tortura, a radiologia odontológica forense é essencial para identificar lesões traumáticas específicas, como fraturas e hematomas, que são indicativos de abuso físico. Essas informações possibilitam uma análise detalhada do tempo e da gravidade das agressões sofridas, resultando em provas forenses robustas que são fundamentais em processos judiciais, promovendo a justiça e a responsabilização dos agressores. (Guegan, E.2024) Adicionalmente, as perícias em erros médicos e odontológicos são fundamentais para identificar práticas inadequadas que podem causar danos aos pacientes. Essas avaliações investigam a correlação entre os tratamentos realizados e suas consequências, permitindo determinar se houve negligência ou erro na conduta profissional. A perícia forense analisa registros médicos, diagnósticos, tratamentos e procedimentos, buscando evidências que fundamentam a responsabilidade profissional e garantam a proteção dos direitos dos pacientes. Essa abordagem não apenas contribui para a responsabilização em casos de erro, mas também tem um papel preventivo, promovendo melhorias na qualidade dos serviços de saúde. (SILVA,2022). Nos últimos anos, a integração da Inteligência Artificial (IA) na radiologia odontológica tem se destacado como um avanço tecnológico significativo que apoia investigações forenses. A IA pode ser utilizada para analisar grandes volumes de dados radiográficos, detectando padrões e anomalias que podem passar despercebidos durante uma análise convencional. Com algoritmos avançados, a IA é capaz de identificar características dentárias e condições patológicas de forma mais rápida e precisa, otimizando a identificação de indivíduos em casos de restos mortais e auxiliando na coleta de evidências em situações de erro médico. Essa tecnologia não apenas melhora a eficiência do processo investigativo, mas também oferece uma nova perspectiva para a prática forense, aumentando a confiabilidade das análises realizadas (de Souza, I. D. C. D, et al., 2023).

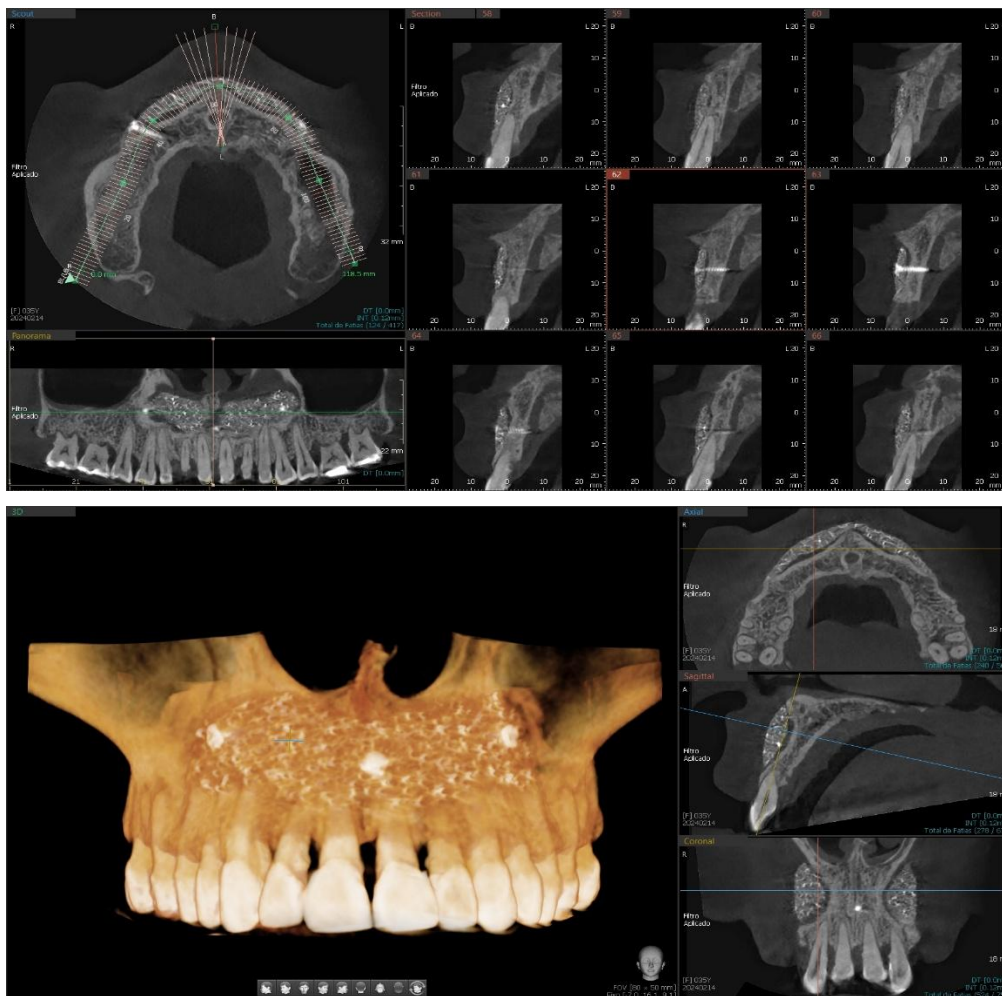


Figura 1. Tomografia cone beam: observa-se imagem hiperdensa na região anterior de maxila compatível com material de enxertia óssea ,presença de tela de titânio e miniparafusos.(características de identificação ante e post-mortem).

(Imagem do banco de dados do próprio autor).

Figura 2. Radiografia panorâmica podemos observar ,placas e parafusos região de assoalho de órbita e região de zigomático lado direito e implantes dentários arcadas superior e inferior (características de identificação ante e post-mortem).

(Imagem do banco de dados do próprio autor)

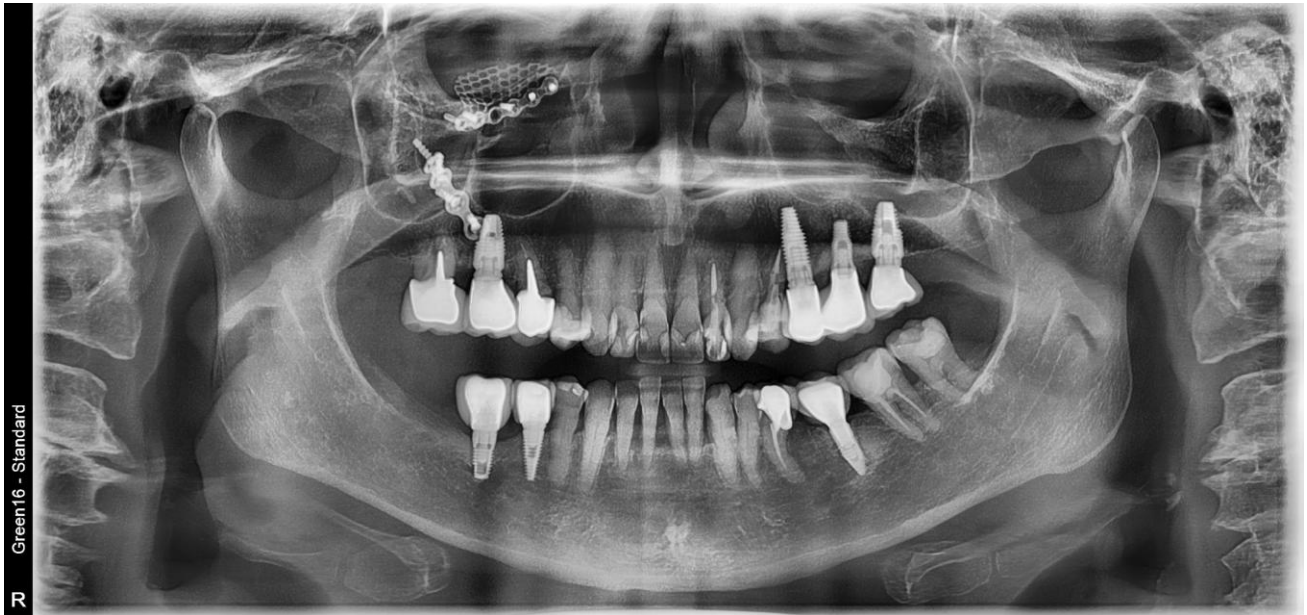


Figura 3. Radiografia (periapical série completa) observa-se placas e parafusos de titânio em regiões dos seios maxilares bilateral (características de identificação ante e post-mortem).

(Imagem do banco de dados do próprio autor)

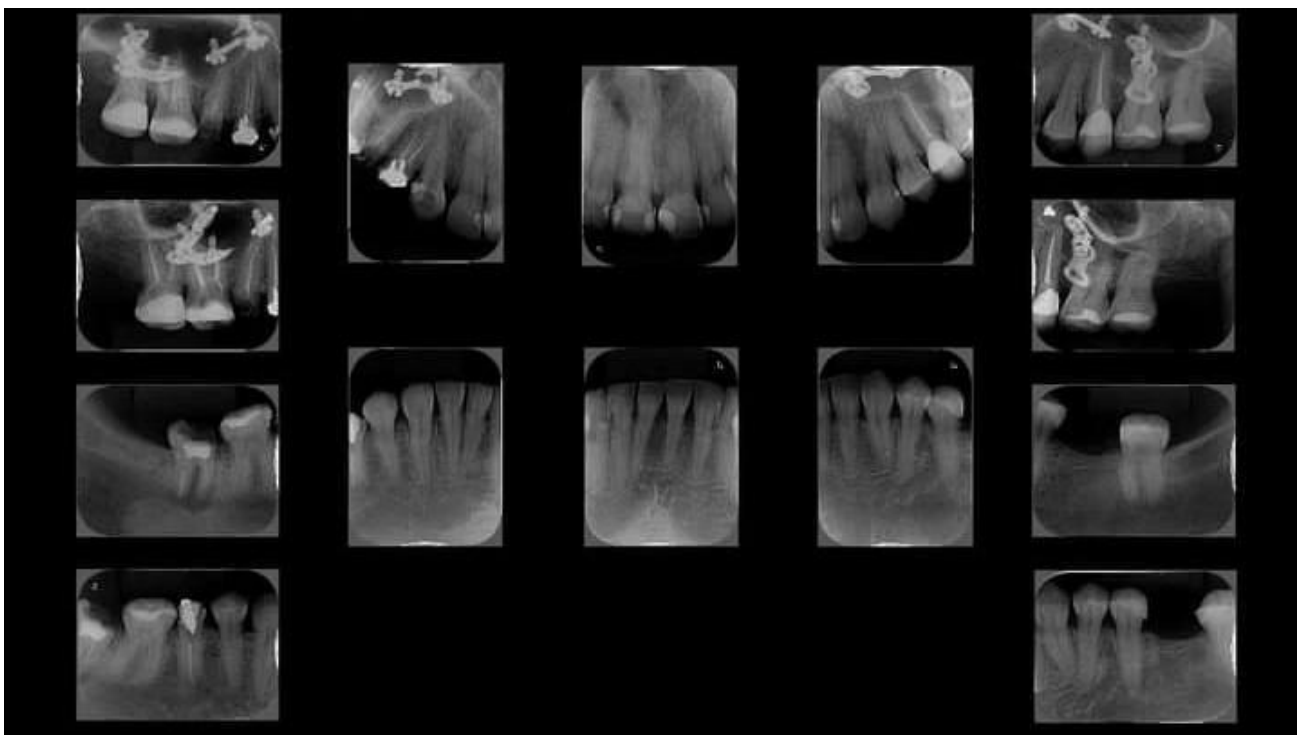


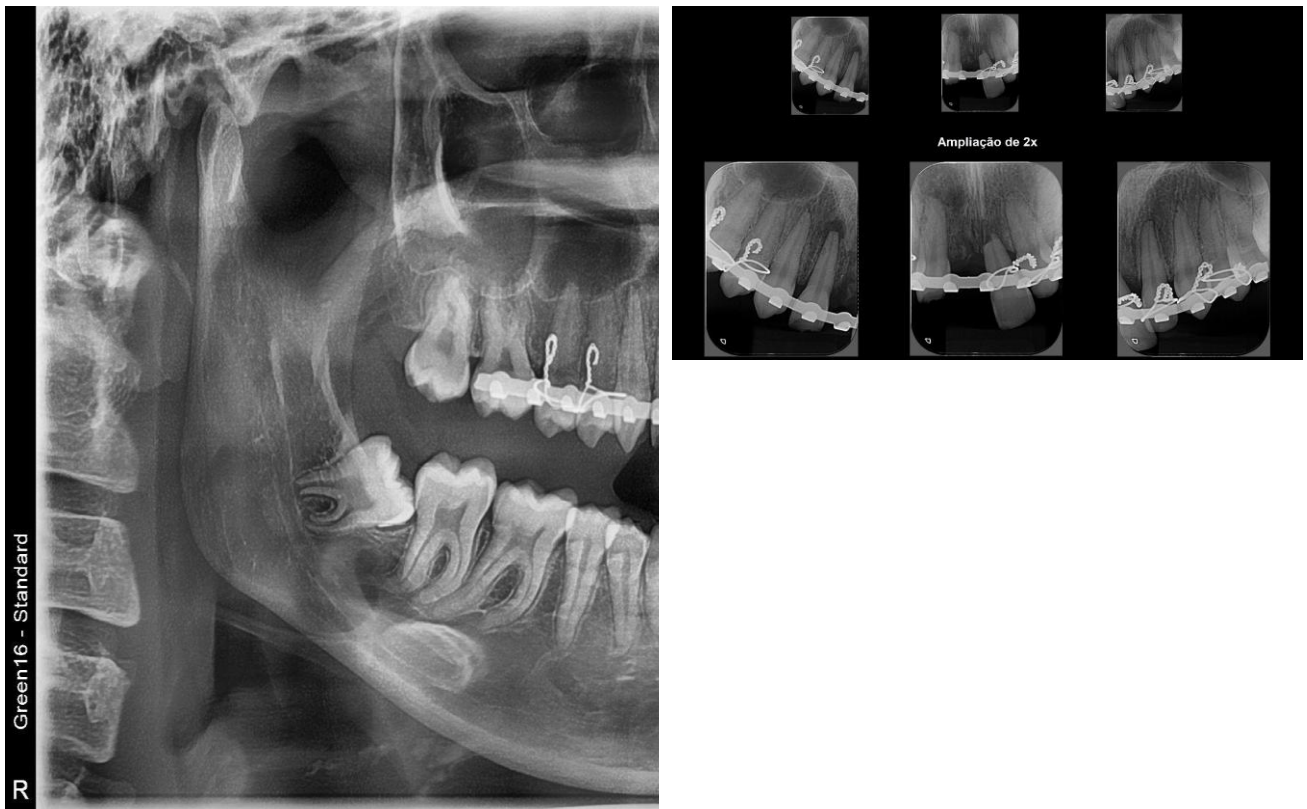
Figura 4. Radiografia panorâmica, observam-se vários fragmentos (estilhaços) balísticos de projétil de arma de fogo (PAF), devido a tentativa de homicídio.

(Imagem do banco de dados do próprio autor)



Figura 5. Radiografia panorâmica, periapicais e foto extrabucal observa -se contenção estabilizadora pós trauma.

(Imagem do banco de dados do próprio autor)

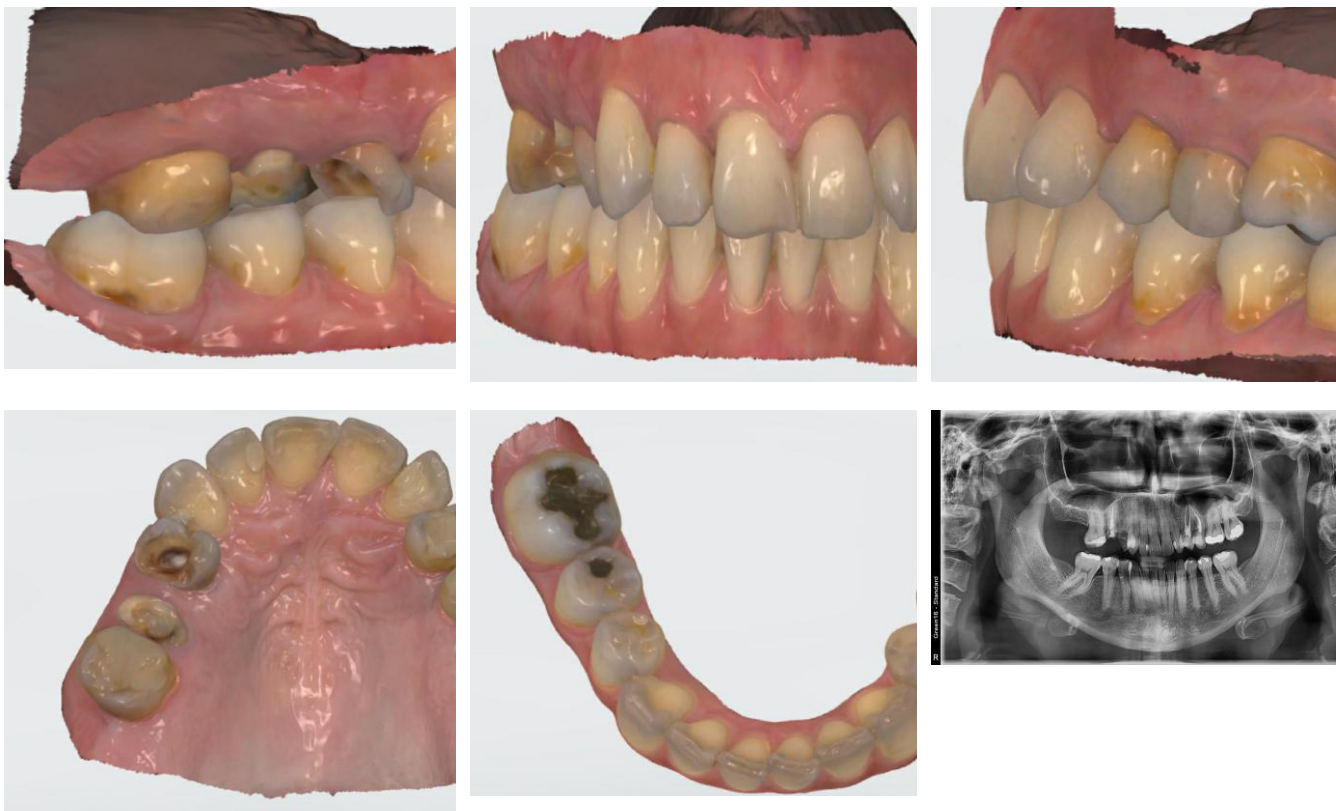




Paciente sexo feminino idade 14 anos, sofreu atropelamento. Observa-se elemento 21 reabsorção radicular seguido de trauma dento alveolar e perda dos elementos 11 e 12.

Figura 6. Imagens de scanner intra-oral e radiografia panorâmica demonstrando destruições coronárias dos elementos 14 e 15 e restaurações e tratamento endodônticos em pré e molares superiores e inferiores bilaterais, características utilizadas em identificação forense.

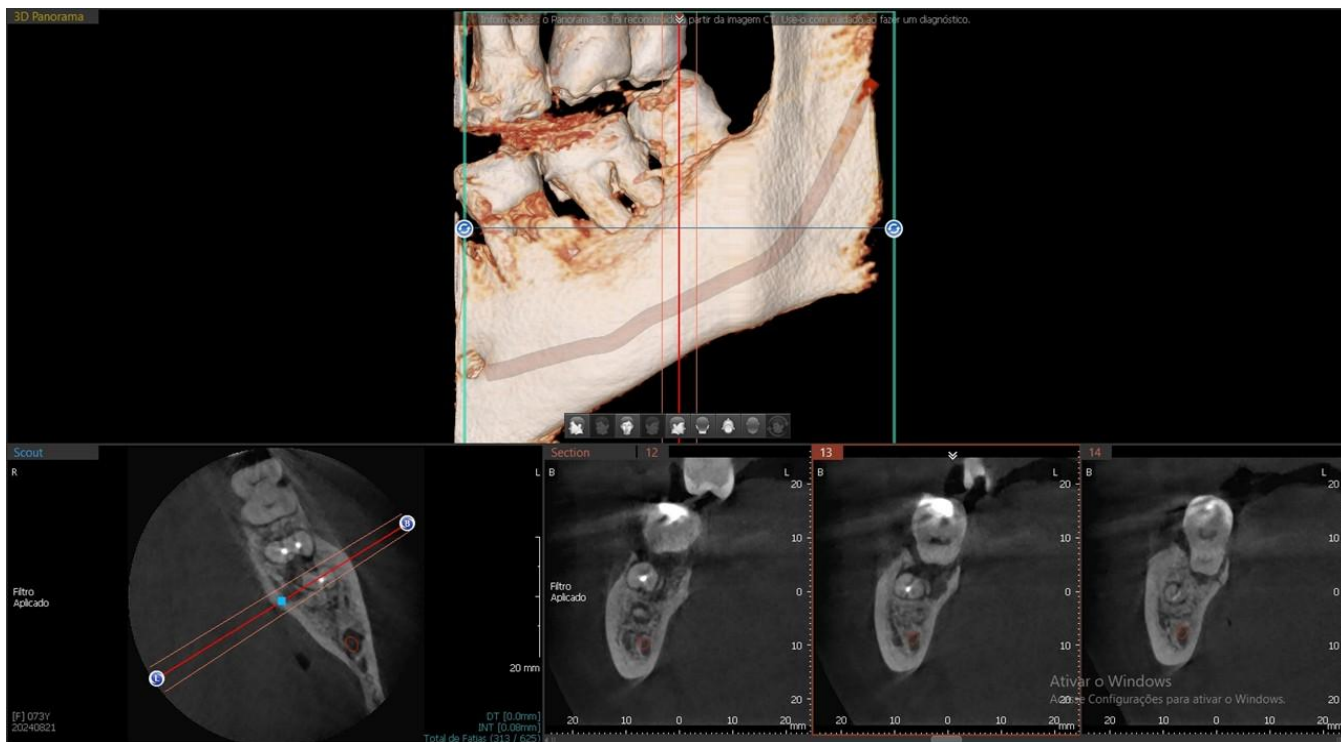
(Imagem do banco de dados do próprio autor)



A integração da inteligência artificial (IA) na radiologia odontológica forense representa um avanço significativo que pode transformar a abordagem de investigações forenses e diagnósticos clínicos (Martin, M. J. G. 2024). Essa tecnologia permite a análise de grandes volumes de dados radiográficos, facilitando a detecção de padrões e anomalias que poderiam passar despercebidos por métodos tradicionais. Com algoritmos avançados, a IA melhora a precisão e a rapidez na identificação de características dentárias e condições patológicas, otimizando a identificação de indivíduos a partir de restos mortais e contribuindo para a coleta de evidências em casos de erro médico. Na prática forense, a comparação de dados ante mortem (antes da morte) e post mortem (após a morte) é essencial para uma identificação acurada. Contudo, é crucial que a

implementação da IA na prática forense respeite diretrizes éticas rigorosas, garantindo a privacidade e a dignidade dos indivíduos envolvidos. Isso inclui a necessidade de transparência nos algoritmos utilizados, a validação de suas capacidades diagnósticas e a consideração do viés que pode ser introduzido pelos dados de treinamento. Além disso, profissionais de odontologia, técnicos em radiologia e especialistas em tecnologia da informação devem ser capacitados para interpretar os resultados fornecidos pela IA, assegurando que suas decisões finais se baseiam em uma análise crítica e contextualizada das informações. O papel dos tecnólogos e técnicos em radiologia é fundamental, pois são responsáveis pela aquisição de imagens de alta qualidade, essenciais para o sucesso do diagnóstico. A colaboração multidisciplinar é fundamental para o sucesso da aplicação da IA na odontologia forense, promovendo um uso responsável e eficaz dessa tecnologia em contextos de identificação de vítimas e investigações criminais, especialmente ao comparar evidências ante mortem e post mortem (De Almeida Vergara, Clayton Sidney 2024).

Figura 7. Tomografia cone beam: Observa-se delimitação de nervo alveolar (canal da mandíbula) através da ferramenta de inteligência artificial.



Conclusão

A integração da inteligência artificial (IA) na odontologia forense representa um marco significativo na evolução das práticas de identificação e análise forense. A combinação de tecnologias avançadas, como a análise de imagens radiográficas e métodos de autópsia virtual, com protocolos rigorosos estabelecidos pela Interpol, potencializa a eficiência e a precisão nas investigações de vítimas, especialmente em situações de desastres em massa. Os métodos de imagem, como radiografias periapicais, panorâmicas e tomografias computadorizadas, fornecem dados cruciais que, quando analisados por algoritmos de IA, podem revelar padrões e características dentárias que seriam difíceis de identificar manualmente. Essa tecnologia não apenas melhora a velocidade e a confiabilidade das análises, mas também contribui para a criação de um perfil biológico que pode ser vital em investigações criminais. É fundamental que a implementação da IA respeite diretrizes éticas rigorosas, garantindo a privacidade e a dignidade dos indivíduos, e a formação contínua de profissionais da odontologia, radiologia e tecnologia da informação é essencial para interpretar corretamente os resultados da IA e assegurar que as decisões tomadas sejam fundamentadas em análises críticas. Em conclusão, a colaboração multidisciplinar e a inovação tecnológica são indispensáveis para avançar na identificação forense, com a adoção responsável da IA não apenas potencializando a prática forense, mas também reforçando o compromisso com a justiça e os direitos humanos, garantindo que cada vítima receba o respeito e a dignidade que merece.

Referências / References

1. Da Luz Silva W, et al. O papel da Viridentopsy® no avanço das ciências radiológicas legais. Rev Remecs-Rev Multidisc Estud Cient Saúde. 2023;8(14):108-19.
2. Nery LC. A documentação da medicina dentária como fator de identificação na medicina forense. PQDT-Global. 2023.
3. Chamberlain A, de Azevedo Flor B, da Silva Pereira E, Almeida LS, Martins LD, Silva YS, et al. Inteligência Artificial (IA) e suas aplicações em exames de imagem: uma nova era para diagnósticos na área da saúde. Cuad Educ Desarro. 2023;15(12):17605-24.
4. Borges CABV. Interoperabilidade em medicina dentária forense. 2023.
5. De Oliveira Ramos RM, et al. Tecnologias para a consulta de enfermagem em emergência: revisão sistemática de literatura. Cuad Educ Desarro. 2024;16(4)
6. Porto LL. Medicina dentária forense na identificação de vítimas em desastres e catástrofes [dissertação]. 2023.
7. Oliveira TFMD. Odontologia forense: abordagens modernas para a identificação humana. 2024.
8. Nuzzolese E. Viridentopsy: Virtual dental autopsy and remote forensic odontology evaluation. Dent J. 2021;9(9):102. Oliveira TFM. Odontologia forense: abordagens modernas para a identificação humana. 2024.
9. Guegan E. A importância da medicina dentária no processo de identificação humana [dissertação]. 2024.
10. Silva IOF. Erros médicos e a responsabilidade de profissionais: hipóteses que atuam em áreas fora de sua especialidade. 2022.
11. De Souza IDCD, Souza AC, de Siqueira FFC, de Almeida AC, Antunes AA, Petraki GGP, et al. A identificação post mortem das vítimas do desastre natural 2022-0318 inundações e deslizamentos de terra-PE-PB/BR: um estudo de caso. Peer Rev. 2023;5(14):364-78.
12. Martin MJG. Inteligência artificial em radiologia dentária. 2024.
13. De Almeida Vergara CS. O papel fundamental dos tecnólogos e técnicos em Radiologia nas investigações Forenses. E-Acadêmica. 2024;5(1)

Recebido / Received: 08/11/2024

Accepte / Accept: 07/01/2025