



UNIVERSIDADE
FERNANDO
PESSOA

INTÉLIGENCIA ARTIFICIAL PARA A ANÁLISE AUTOMÁTICA DE IMAGENS DE CBCT E TC. APLICAÇÕES NO PLANEAMENTO DE ENXERTOS ÓSSEOS. ESTUDO COMPARATIVO DE UM CASO CLÍNICO

[Artificial Intelligence for the automatic analysis of CBCT and CT images. Applications in bone
graft planning. Comparative study of a clinical case]

Dissertação de Mestrado

Medicina Dentária

Jayson Jean-François Rivet

Orientador:

Doutor José Paulo Mendes Guimarães de Macedo

Outubro 2024

INTÉLIGENCIA ARTIFICIAL PARA A ANÁLISE AUTOMÁTICA DE IMAGENS DE CBCT E TC. APLICAÇÕES NO PLANEAMENTO DE ENXERTOS ÓSSEOS. ESTUDO COMPARATIVO DE UM CASO CLÍNICO

[Artificial Intelligence for the automatic analysis of CBCT and CT images. Applications in bone graft planning. Comparative study of a clinical case]

Dissertação de Mestrado

Medicina Dentária

Jayson Jean-François Rivet

Orientador:

Doutor José Paulo Mendes Guimarães de Macedo

Outubro 2024

À mes parents, ma famille et mes amis. Vous avez toujours cru en moi et votre soutien constant m'a permis d'aller au bout de cette aventure. Cette réussite est aussi la vôtre.

AGREDECIMENTO

Ce travail marque la fin d'un chapitre important de ma vie, mais il est aussi l'aboutissement d'un long chemin que je n'aurais jamais pu parcourir seul. À travers ces lignes, je souhaite remercier du fond du cœur toutes les personnes qui, par leur présence de près ou de loin, leur soutien et leur amour, ont fait de ce parcours une aventure exceptionnelle et inoubliable.

Tout d'abord, je souhaite exprimer ma reconnaissance infinie à mes parents et à France. Votre soutien a été inestimable à tous niveaux et si j'en suis arrivé la aujourd'hui c'est en partie grâce à vous.

À mon père et à ma mère, vous m'avez donné l'exemple à suivre et les valeurs qui m'ont guidé tout au long de cette aventure. Vos conseils sages, bienveillants et votre amour inconditionnel m'ont donné la force de persévérer. Votre patience, vos encouragements et votre foi inébranlable en mes capacités ont été les moteurs qui m'ont permis d'avancer, même lorsque tout semblait incertain. Sans votre confiance en moi, je n'y serais certainement pas arrivé. Merci de m'avoir donné tout ce dont j'avais besoin pour que je puisse accomplir mon rêve. Merci d'être les parents incroyables que vous êtes, je vous aime énormément.

À France, ma seconde mère, je tiens à te remercier du fond du cœur pour tout ce que tu fais pour moi. Merci d'avoir toujours cru en moi, d'avoir su m'écouter, me réconforter et m'encourager à chaque étape. Tu m'as toujours apporté le soutien dont j'avais besoin dans tous mes projets. Tu m'as toujours considéré comme ton propre enfant et tu as su, par ta présence et ton amour, faire en sorte que je ne me sente jamais loin de vous pour aller au bout de cette aventure, et cela a fait toute la différence. Je t'aime fort.

À mon professeur de thèse, Docteur José Paulo Mendes Guimarães de Macedo un grand merci pour votre patience, votre disponibilité et votre aide. Vous m'avez accompagné tout au long de ce travail avec bienveillance et professionnalisme. Votre écoute et votre

encadrement ont été des éléments clés de ma réussite, et je vous en suis profondément reconnaissant. Merci d'avoir toujours su apporter les conseils pertinents qui m'ont permis d'avancer et de mener à terme ce travail.

À mes grands-parents, merci pour votre présence constante, votre soutien, votre amour et vos encouragements. Je repense souvent à nos fous rires et à toutes ces activités que nous faisons ensemble quand j'étais enfant. Ces instants de bonheur m'ont permis de grandir et vos histoires sur la vie ont été pour moi des repères précieux. Votre force et bienveillance m'ont inspiré tout au long de mon parcours, et je sais que vous êtes fiers de moi aujourd'hui. Je vous aime.

À Steven, mon grand frère. Merci d'avoir été un modèle, un guide et une source constante d'inspiration depuis toujours. Tu as su m'apporter les conseils dont j'avais besoin à chaque instant et ta force, ton amour et ta présence m'ont toujours apporté de la joie, du réconfort et de la motivation quand j'en avais besoin. Tu as su m'aider à surmonter les obstacles et à me rappeler l'importance de persévérer quand il le fallait. J'espère que tu es fier de moi car je le suis de toi. Je t'aime inconditionnellement mon frère.

À mes petits frères et sœurs, Dickson, Shanna et Kessy, votre amour sans filtre a été un véritable moteur pour moi. Rien que de penser à vous m'a toujours donné du réconfort et de la motivation. J'espère pouvoir continuer à être un exemple pour vous. Je vous aime de tout mon cœur.

À mes tantes, Sylviane et Françoise, et mon oncle Philippe. J'ai souvent trouvé du réconfort et de la motivation rien cas pensé à nos fous rires et à nos moments en famille remplis de joie et de bonheur. Vous avez toujours été là pour m'encourager, me soutenir et m'écouter. Votre amour inconditionnel m'a permis de croire en moi et je sais à quel point vous êtes fier de moi aujourd'hui. Je vous aime.

À mon oncle Patrick. Tu étais une source d'inspiration par ta sagesse et ta gentillesse, et je sais que tu serais fier de moi aujourd'hui. Ton souvenir continue de m'accompagner. Tu resteras à jamais dans mon cœur. Je t'aime.

À ma Pauline, ma Paupau d'amour, ma sœur et âme sœur, notre rencontre a été l'une des plus belles surprises de ma vie et une évidence à la fois. Depuis nos débuts à Dublin, tu as été présente à chaque instant, dans les moments de joie comme dans les périodes difficiles. Je repense à nos fous rires, nos longues discussions, nos rêves partagés, nos folies, nos débats et nos crises nocturnes. Finalement ce sont toutes nos anecdotes qui ont rendu notre aventure unique et dont nous nous rappellerons toute notre vie. Merci d'avoir rendu ces sept dernières années si spéciales. Ton amitié, ta générosité et ta loyauté ont fait de toi bien plus qu'une amie, tu es ma famille. Peu importe où la vie nous mènera, je sais que nous resterons unies à jamais car qui dit Jayson dit Pauline et vice-versa.

À Luce, ma Lucette, ma sœur, merci d'avoir toujours été là. Dès le premier jour, ça a collé entre nous. Je repense à toutes nos bêtises, de Dublin à Porto, nos soirées de folie, celles à refaire le monde, et ta touche spéciale qui a rendu chaque instant que nous avons partagé unique et inoubliable. Merci pour ton soutien infailible et ta loyauté. Tu es l'une des rares personnes sur qui on peut réellement toujours compter, et je suis heureux de te compter parmi ma famille. Ces sept dernières années n'auraient pas été les mêmes sans la personne incroyable que tu es.

À Pauline et Luce, ensemble, nous avons formé le trio infernal et je suis sûr que de nombreuses et belles aventures nous attendent encore. Je vous aime fort.

À mes sœurs Sirine, Rania et Layla. Je ne compte plus les années de fous rires et de moments de bonheur partagés à vos côtés. Même avec la distance, rien n'a changé dans notre amitié si forte. Vos encouragements et votre présence constante ont toujours été une source de réconfort et de motivation. Vous êtes bien plus que des amies, vous êtes ma famille. Je vous aime profondément et suis fier de tout ce que nous avons accompli. Vous êtes extraordinaires.

À Marine, Matthieu, Bryan et Nicolas, mes frères et sœurs, merci pour tous ces souvenirs, ces fous rires et ces moments inoubliables que nous avons partagés depuis bien des années maintenant. Vous êtes toujours là à mes côtés. Votre amitié et votre soutien ont été essentiels, et je me sens chanceux de vous avoir dans ma vie. Merci de m'avoir motivé et d'avoir cru en moi. Vous êtes ma famille, je vous aime.

À Rebecca et Lou, les deux sœurs qui sont devenues mes sœurs. Merci d'avoir été mes partenaires de folie tout au long de ce parcours, entre la joie et la panique. Nos soirées, nos rigolades, nos poulets du dimanche et tous ces moments que nous avons partagés ont rendu cette aventure bien plus belle et unique et ces tous ces souvenirs qui resteront gravés dans ma mémoire. Je suis infiniment reconnaissant de vous avoir à mes côtés. Je vous aime.

À JF et Clémentine, deux rencontres incroyables qui ont marqué cette aventure. Merci pour votre amitié sincère, nos fous rires et tous ces moments de joie et d'incertitude que nous avons partagé. Vous avez une place spéciale dans mon cœur et ces souvenirs resteront gravés.

Enfin, à ma tante Violette, qui n'est plus là aujourd'hui mais qui occupe une place irremplaçable dans mon cœur, il m'est difficile de trouver les mots pour exprimer à quel point tu m'as inspiré. Ton rire, ta douceur, ta générosité et l'amour inconditionnel que tu m'as toujours porté m'ont donné de la force quand j'en avais besoin. Je me souviens de ces soirées à discuter ensemble devant la télévision jusqu'au petit matin, de tes anecdotes à mourir de rire. Ta bonté, ta capacité à voir le meilleur en chacun et ton ouverture d'esprit ont toujours été un exemple pour moi. Aujourd'hui, je regarde les étoiles et je sais que tu es là, quelque part, veillant sur moi à chaque instant. Je te remercie pour tout ce que tu m'as appris et pour chaque moment de bonheur que nous avons partagé. Ma Violette, tu seras toujours mon étoile, mon ange gardien, celle qui illumine mon chemin. J'espère que, de là où tu es, tu es fière de moi et qu'un jour nous nous retrouverons. Je t'aime à l'infini.

RESUMO

A extração dos molares e pré-molares superiores, juntamente com a resposta do processo alveolar que conduz ao edentulismo posterior, resulta numa reabsorção óssea ao nível dos seios maxilares. Este fenómeno, que leva a uma perda óssea quantitativa, tornou-se um grande desafio para os cirurgiões em implantologia dentária. Por conseguinte, foram desenvolvidas e implementadas técnicas regenerativas, como os enxertos ósseos do seios maxilares, de forma a inserir um material de preenchimento e aumentar a altura óssea do pavimento sinusal, com o objetivo de possibilitar a reabilitação através da colocação de implantes nos pacientes afetados.

As imagens CBCT, assim como as imagens de tomografia computadorizada (TC), representam um progresso considerável no campo da implantologia, fornecendo informações tridimensionais detalhadas da região maxilofacial. No entanto, a sua interpretação continua a ser delicada e complexa, podendo levar a interpretações erradas.

Nesta tese, tínhamos como objetivo principal comparar a decisão e resultado da reabilitação óssea de uma paciente através da IA, com a reabilitação realizada por um profissional sem recurso a IA. Devíamos encontrar um software de inteligência artificial que integrasse técnicas de processamento de imagem e aprendizagem automática, para promover a análise automática e rigorosa de imagens CBCT e TC e propor planos de tratamento automatizados com simulações virtuais no contexto do aumento pré-implantar do pavimento sinusal de modo a facilitar a tomada de decisão ideal por parte do cirurgião-dentista e otimizar o sucesso deste tratamento complexo. Mas, após várias pesquisas, nenhum software de IA até à data foi suficientemente desenvolvido para permitir a geração de planos de tratamento automatizados para cumprido com sucesso a expectativa inicial do nosso objetivo.

Embora não tenhamos cumprido este objetivo, por falta de software que o possa realizar neste momento, surgiu um outro objetivo secundário, a avaliação das capacidades e limitações de um software de IA na análise automática das imagens CBCT e TC de um caso clínico no processo de enxerto ósseo sinusal, a fim de comparar a eficácia dos resultados obtidos com a análise realizada pelo cirurgião-dentista e assim relata o estado da arte da utilização da IA nos procedimentos de enxerto ósseo sinusal.

Para tal, estudámos as imagens CBCT, TC e panorâmicas de um caso clínico antes e após um enxerto ósseo sinusal, que submetemos à análise do nosso software de IA Diagnocat, um dos softwares de IA mais desenvolvidos na área dentária para a análise automática de imagens CBCT, TC e panorâmicas.

A IA não substitui a experiência humana, mas revela-se um complemento essencial para ajudar o profissional a tomar decisões informadas e a melhorar os resultados do tratamento. Embora a planificação do enxerto ósseo não tenha podido ser gerada de forma totalmente automatizada pelo software, este forneceu uma segmentação automática e precisa das estruturas anatómicas, bem como uma análise das radiografias panorâmicas.

Em conclusão, a automação da análise das imagens CBCT e TC através da IA representa um grande progresso no campo da cirurgia dentária, especialmente no contexto dos enxertos ósseos para o aumento pré-implantar do pavimento sinusal. Ao oferecer uma segmentação precisa e automatizada das estruturas anatómicas, a IA aumenta a eficácia e a precisão da análise radiológica. Este sistema oferece uma solução inovadora e segura para otimizar a prática clínica, reduzindo o tempo necessário para a segmentação manual

das estruturas anatómicas e, conseqüentemente, as complicações pré e pós-operatórias. Nos próximos anos, espera-se que a IA continue a desenvolver-se ainda mais e ofereça muito mais possibilidades graças às tecnologias de ponta, com análises e planos de tratamento totalmente automatizados, o que era o nosso objetivo inicial.

Palavras-chaves: “artificial intelligence in dentistry”, “CBCT”, “maxillary sinuses”, “bone grafts”, “implants”, “Diagnocat,” and a combination of these terms.

ABSTRACT

The extraction of upper molars and premolars, along with the response of the alveolar process leading to posterior edentulism, results in bone resorption at the maxillary sinuses. This phenomenon, which causes quantitative bone loss, has become a major challenge for dental implant surgeons. Consequently, regenerative techniques, such as maxillary sinus bone grafts, have been developed and implemented to insert a filling material and increase the bone height of the sinus floor, with the goal of enabling rehabilitation through the placement of implants in affected patients.

CBCT images, as well as computed tomography (CT) images, represent a considerable advancement in the field of implantology, providing detailed three-dimensional information about the maxillofacial region. However, their interpretation remains delicate and complex, which can lead to misinterpretations.

In this thesis, our main goal was to compare the decision-making and outcome of bone rehabilitation in a patient using AI with the rehabilitation performed by a professional without the aid of AI. We sought to find an artificial intelligence software that integrates image processing and machine learning techniques to promote the automatic and rigorous analysis of CBCT and CT images and to propose automated treatment plans with virtual simulations in the context of pre-implant sinus floor augmentation to facilitate the ideal decision-making by the dental surgeon and optimize the success of this complex treatment. However, after extensive research, no AI software to date was found to be sufficiently developed to generate automated treatment plans that successfully met our initial expectations.

Since we did not meet this objective due to the lack of suitable software at this time, a secondary objective emerged: to evaluate the capabilities and limitations of an AI software in the automatic analysis of CBCT and CT images of a clinical case in the sinus bone grafting process, in order to compare the efficacy of the results obtained with those of the analysis performed by the dental surgeon, thus documenting the state of the art of AI use in sinus bone grafting procedures.

To do so, we studied CBCT, CT, and panoramic images of a clinical case before and after a sinus bone graft, which we submitted to analysis using our AI software, Diagnocat, one of the most advanced AI tools in the dental field for the automatic analysis of CBCT, CT, and panoramic images.

AI does not replace human expertise but proves to be an essential complement to help the professional make informed decisions and improve treatment outcomes. Although the planning of the bone graft could not be fully automated by the software, it provided automatic and precise segmentation of anatomical structures as well as an analysis of panoramic radiographs.

In conclusion, the automation of CBCT and CT image analysis through AI represents significant progress in dental surgery, especially in the context of bone grafts for pre-implant sinus floor augmentation. By offering precise and automated segmentation of anatomical structures, AI enhances the efficiency and accuracy of radiological analysis. This system provides an innovative and safe solution to optimize clinical practice,

reducing the time required for manual segmentation of anatomical structures and, consequently, pre- and post-operative complications. In the coming years, AI is expected to continue evolving and to offer even more possibilities thanks to cutting-edge technologies, with fully automated analysis and treatment planning, which was our initial objective.

Keywords: “artificial intelligence in dentistry”, “CBCT”, “maxillary sinuses”, “bone grafts”, “implants”, “Diagnocat,” and a combination of these terms.

ÍNDICE GERAL

RESUMO	I
ABSTRACT	III
ÍNDICE DAS FIGURAS	VII
LISTAS DAS ABREVIATURAS	IX
I. INTRODUÇÃO	1
1. Definição e evolução da inteligência artificial	1
2. Evolução da IA em Imagiologia Odontológica	4
3. Segmentação e Análise dos Seios Maxilares com IA	6
4. Objetivo	8
5. Materiais e Métodos	9
II. CASO CLÍNICO	13
1. Apresentação e Descrição do Software Diagnocat	19
2. Funcionalidades Principais do Diagnocat	19
2.1 Análise Avançada de Imagens 2D e 3D	19
2.2 Relatórios Automatizados e Detalhados	19
2.3 Integração Fácil e Compatibilidade com Sistemas Existentes	19
2.4 Assistência ao Diagnóstico e à Planificação dos Tratamentos	20
2.5 Ferramenta Pedagógica e de Formação	20
3. Diagnocat e os Enxertos Ósseos Sinusais	20
3.1 Segmentação Automática e Precisa dos Seios Maxilares	20
3.2 Redução de Riscos e Complicações Cirúrgicas	20
3.3 Maior Precisão na Planificação dos Implantes	21
4. Vantagens do Diagnocat para a Odontologia Moderna	21
4.1 Precisão e Fiabilidade Acrescidas	21
4.2 Ganho de Tempo Significativo	21

4.3 Melhoria na Comunicação com os Pacientes	21
5. Diagnocat: uma Solução para a Odontologia Moderna	22
6. Análise	22
6.1 Parte 1: Segmentação automática e visualização com Diagnocat	22
6.2 Parte 2: Análise pré-operatória com Diagnocat	26
6.3 Parte 3: Análise pós-operatória com Diagnocat	30
7. Análise Panorâmica com Diagnocat	34
III. DISCUSSÃO	37
1. Lembrando os objetivos do estudo:	37
2. Análise comparativa da segmentação manual e automatizada com Diagnocat para CBCT e panorâmicas	37
3. Importância da enxertia óssea sinusal para a reabilitação com implantes	38
4. Análise dos resultados pós-operatórios	39
5. Vantagens e desvantagens do Diagnocat para a análise CBCT	39
5.1 Vantagens	39
5.2 Desvantagens e perspectivas de melhoria	40
6. Comparação com outros estudos sobre a segmentação automatizada dos seios maxilares	41
7. Introdução dos softwares de inteligência artificial em odontologia	41
8. Perspectivas futuras e abertura para a educação e prática clínica	42
IV. CONCLUSÃO	45
V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

ÍNDICE DAS FIGURAS

Figura 1. Evolução da Popularidade da IA ao Longo das Décadas.	1
Figura 2. Hierarquia de IA	3
Figura 3. Representação esquemática da arquitetura de redes neurais	4
Figura 4. Ortopantomografia pré-enxerto ósseo	14
Figura 5. CBCT pré-enxerto ósseo	15
Figura 6. CBCT pós-enxerto ósseo	16
Figura 7. CBCT pós-implantação	17
Figura 8. Ortopantomografia pós-implantação	18
Figura 9. Segmentação 1 (Cor)	23
Figura 10. Segmentação 2 (Modelo 3D)	24
Figura 11. Segmentação 3 (Isolamento)	25
Figura 12. Segmentação 4 (transparência)	26
Figura 13. Segmentation corte coronal pré-enxerto ósseo	27
Figura 14. Segmentação corte sagital pré-enxerto ósseo	27
Figura 15. Segmentação e medida corte coronal pré-enxerto ósseo	28
Figura 16. Segmentação e medida corte sagital pré-enxerto ósseo	29
Figura 17. Segmentação corte axial, coronal, sagital e modelo sinusais 3D pré- enxerto ósseo	30
Figura 18. Segmentação corte coronal pós-enxerto ósseo	31
Figura 19. Segmentação e medida corte coronal pós-enxerto ósseo	32
Figura 20. Segmentação e medida corte sagital pós-enxerto ósseo	32
Figura 21. Segmentação corte axial, coronal, sagital e modelo 3D pós-enxerto ósseo	33
Figura 22. Análise ortopantomografia com Diagnocat	35

LISTAS DAS ABREVIATURAS

ANN - Redes Neurais Artificiais

ATM - Articulações temporomandibulares

CBCT - Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico

CNN - Redes Neurais Convolucionais

DL - Aprendizagem Profunda

DSC - Coeficiente de Similaridade de Dice

FDI - Federação Dentária Internacional

IA - Inteligência Artificial

ML - Aprendizagem Automática

MLP - Perceptrões Multicamada

TC - Tomografia Computadorizada

2D - Duas dimensões

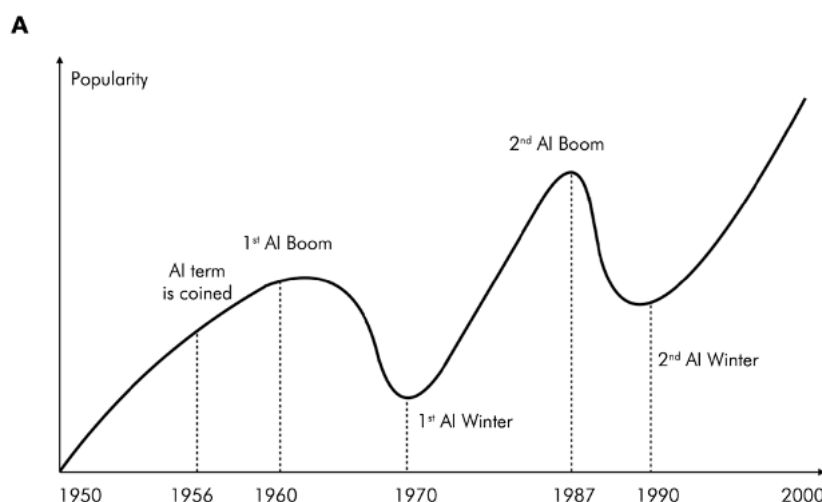
3D - Três dimensões

I. INTRODUÇÃO

1. Definição e evolução da inteligência artificial

A inteligência artificial (IA) impôs-se como um elemento-chave no domínio da odontologia moderna, contribuindo para a precisão dos diagnósticos, para o planeamento dos tratamentos e para a qualidade dos cuidados prestados aos pacientes. O conceito de IA surgiu na década de 1950, mas foi realmente em 1956, durante uma conferência em Dartmouth liderada por John McCarthy, que o termo “inteligência artificial” foi oficialmente utilizado pela primeira vez. Desde essa época, o conceito de IA passou por períodos de entusiasmo, alternados com momentos de desilusão, conhecidos como “AI winters”. (cf. Figura 1)

Figura 1. *Evolução da Popularidade da IA ao Longo das Décadas.*



Nota. “Demystifying artificial intelligence and deep learning in dentistry”, de Rodrigues, et al., 2021

No entanto, a IA tem evoluído de maneira exponencial, marcada por avanços tecnológicos significativos que permitiram a sua integração em áreas cada vez mais especializadas, incluindo a odontologia (Ossowska et al., 2022; Rodrigues et al., 2021). A IA define-se como a capacidade das máquinas para imitar processos de pensamento humano, como a aprendizagem, a tomada de decisões e a resolução de problemas complexos, o que é particularmente relevante num contexto clínico onde a precisão é essencial (Surlari et al.,

2023). A integração da IA nos cuidados odontológicos visa principalmente fornecer soluções eficazes aos desafios clínicos enfrentados diariamente pelos profissionais (Surlari et al., 2023).

A IA evoluiu rapidamente dentro da odontologia, passando de uma simples ferramenta de análise de imagens radiográficas para uma tecnologia capaz de transformar a prática de várias disciplinas odontológicas, como a ortodontia, a implantologia, a endodontia, a odontopediatria, a periodontia e a deteção precoce de cáries (Chakravorty et al., 2023; Rodrigues et al., 2021). Estes avanços permitiram reforçar as capacidades de diagnóstico e melhorar o cuidado dos pacientes em odontologia, facilitando o planeamento dos tratamentos e aumentando a precisão das intervenções clínicas (Rodrigues et al., 2021).

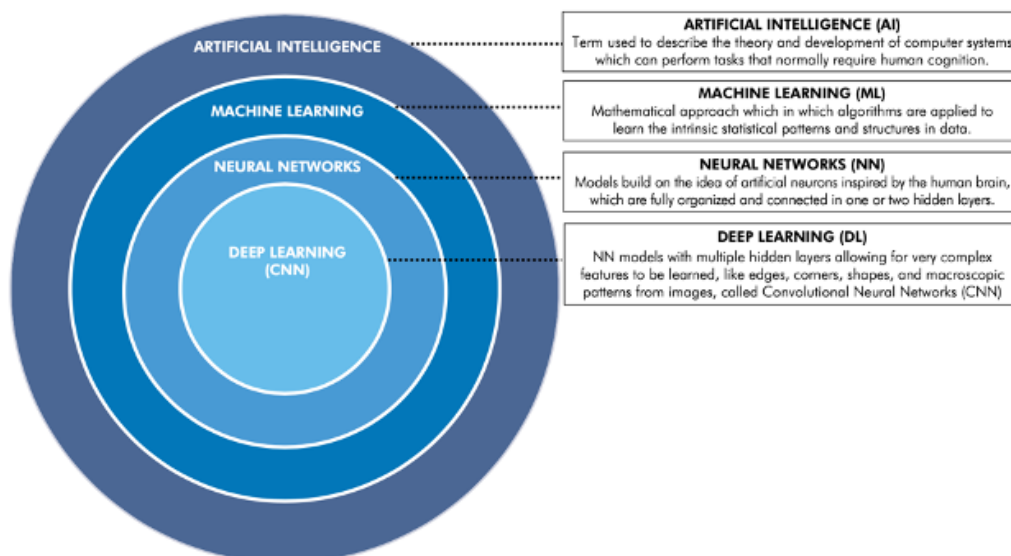
A aprendizagem automática (Machine Learning - ML) é um componente importante da IA em odontologia, permitindo que os sistemas aprendam a partir de dados e melhorem o seu desempenho ao longo do tempo, sem que seja necessária uma programação explícita para cada tarefa (Surlari et al., 2023). Por exemplo, a aprendizagem supervisionada baseia-se no treino do algoritmo a partir de dados etiquetados por especialistas, o que significa que ele aprende a detetar cáries analisando radiografias já identificadas como contendo ou não lesões cariosas. Posteriormente, pode aplicar estes conhecimentos a novas imagens, oferecendo assim um diagnóstico mais preciso (Rodrigues et al., 2021). Diferente da aprendizagem supervisionada, a aprendizagem não supervisionada permite que o algoritmo trabalhe sem dados previamente etiquetados, procurando identificar padrões ou agrupamentos de forma autónoma. Isto pode ser particularmente útil para identificar perfis de risco nos pacientes ou para adaptar os planos de tratamento de forma mais personalizada (Rodrigues et al., 2021). Já a aprendizagem por reforço baseia-se num sistema de recompensas e penalizações para guiar o algoritmo no seu processo de aprendizagem. Por exemplo, no contexto ortodôntico, a aprendizagem por reforço permite que a IA ajuste gradualmente os tratamentos para obter resultados ótimos, melhorando a eficácia e a adaptabilidade do tratamento (Rodrigues et al., 2021).

As redes neuronais artificiais (Artificial Neural Networks - ANN), amplamente utilizadas em odontologia, funcionam de forma semelhante ao cérebro humano, utilizando neurónios artificiais para processar e analisar dados (Surlari et al., 2023). Estas são compostas por três camadas principais: a camada de entrada, a camada oculta (onde os dados são processados) e a camada de saída (onde as decisões são tomadas). Redes mais

complexas, chamadas de “perceptrões multicamada” (MLP), possuem várias camadas ocultas que lhes permitem analisar dados mais sofisticados (Ossowska et al., 2022). Esta estrutura torna as ANN particularmente eficazes para tarefas como a análise de radiografias odontológicas. As redes neuronais convolucionais (Convolutional Neural Networks - CNN), que fazem parte do deep learning, são projetadas especificamente para analisar imagens e têm demonstrado a sua eficácia na identificação de cáries e outras patologias odontológicas (Ossowska et al., 2022).

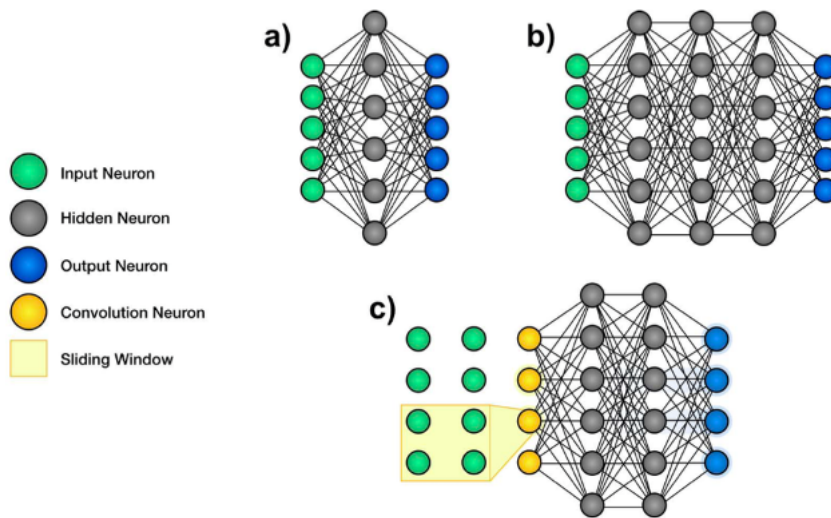
A aprendizagem profunda (Deep Learning - DL), uma forma avançada de aprendizagem automática, baseia-se em redes neuronais profundas capazes de analisar dados mais complexos. Na odontologia, o DL é particularmente eficaz para o processamento de imagens radiográficas tridimensionais, facilitando a deteção de cáries, a avaliação das estruturas ósseas e a identificação de fraturas dentárias com uma precisão superior (Surlari et al., 2023). As CNN, uma técnica de DL, são frequentemente utilizadas para processar imagens radiográficas e extrair características visuais, melhorando a deteção de anomalias odontológicas (Rodrigues et al., 2021). (cf. Figuras 2 e 3)

Figura 2. Hierarquia de IA



Nota. “Demystifying artificial intelligence and deep learning in dentistry”, de Rodrigues, et al., 2021.

Figura 3. Representação esquemática da arquitetura de redes neurais



Nota. redes neurais simple (a), redes neurais profundas (b) e redes neurais convolucionais (c) “Use of artificial intelligence in dentistry: Current clinical trend and research advances”, de Nguyen, e al., 2021.

Assim, a inteligência artificial, através dos seus diferentes componentes, como a aprendizagem automática, as redes neuronais artificiais e a aprendizagem profunda, está a transformar a odontologia moderna (Surlari et al., 2023). A sua capacidade de processar grandes quantidades de dados e aprender de forma autónoma contribui para melhorar a precisão dos diagnósticos, a qualidade dos cuidados e a eficácia dos tratamentos odontológicos (Surlari et al., 2023). Além disso, ao automatizar certas tarefas repetitivas, a IA liberta os profissionais dessas responsabilidades, permitindo-lhes concentrar-se em aspetos mais complexos e melhorar a experiência dos pacientes (Surlari et al., 2023). Embora a IA em odontologia ainda esteja em plena evolução, o seu potencial de inovação e de melhoria dos cuidados não para de crescer, abrindo novas perspetivas para o futuro da profissão.

2. Evolução da IA em Imagiologia Odontológica

A inteligência artificial (IA) evoluiu consideravelmente na radiologia odontológica, desempenhando um papel essencial na melhoria da precisão dos diagnósticos e no planeamento dos tratamentos (Singh et al., 2020). As técnicas de imagem mais utilizadas na odontologia são a radiografia panorâmica 2D e a tomografia volumétrica de feixe

cónico (CBCT) 3D, que fornecem informações detalhadas sobre as estruturas dentárias e maxilofaciais (Kaasalainen et al., 2021).

A radiografia panorâmica 2D foi, durante muito tempo, uma ferramenta básica na odontologia, sendo a modalidade de imagem mais comum, fornecendo uma visão geral da dentição, dos seios maxilares e das articulações temporomandibulares (ATM). No entanto, devido à sobreposição das estruturas anatómicas e às distorções geométricas, apresenta limitações para a deteção precisa de certas patologias dentárias, pois nem sempre permite uma representação exata das estruturas em três dimensões. De facto, estruturas orais, como as raízes dentárias e os ossos alveolares, nem sempre são claramente representadas, o que pode resultar em diagnósticos incompletos ou informações ausentes, por exemplo, no caso de lesões periapicais situadas na ponta da raiz ou para o diagnóstico dos seios maxilares (Choi et al., 2022; Kaasalainen et al., 2021).

Para superar estas limitações, a CBCT impôs-se como uma técnica de imagem avançada. Apresenta vantagens distintas, como doses de radiação mais baixas e um custo inferior em comparação com a tomografia computadorizada convencional (TC) (Ezhov et al., 2021). Permite obter imagens 3D de alta resolução, sem distorção ou sobreposição das estruturas ósseas e dentárias, como é frequentemente o caso com a radiografia tradicional (Ezhov et al., 2021). Oferece, assim, uma visualização mais detalhada das estruturas dentárias e maxilofaciais, como os canais radiculares, a qualidade do osso alveolar e a localização dos dentes inclusos (Kaasalainen et al., 2021). Este método revolucionou a imagem odontológica, fornecendo imagens precisas das estruturas em três dimensões, o que é essencial para o planeamento dos tratamentos cirúrgicos e ortodônticos.

Com o advento da IA, estas técnicas de imagem foram significativamente otimizadas. A IA é capaz de analisar imagens panorâmicas 2D e CBCT 3D com grande precisão, detetando detalhes muitas vezes difíceis de perceber a olho nu. O uso de algoritmos de aprendizagem profunda (Deep Learning) e de redes neuronais convolucionais (CNN) melhorou consideravelmente a análise das imagens radiográficas odontológicas, permitindo uma identificação mais rápida e precisa das estruturas anatómicas e das patologias dentárias graças a funções avançadas de segmentação, classificação, localização e deteção (Singh et al., 2020).

No caso específico das imagens CBCT, a IA trouxe avanços importantes, nomeadamente na deteção de lesões periapicais, na avaliação da qualidade óssea antes da colocação de

implantes e na análise da morfologia das raízes dentárias (Ezhov et al., 2021; Putra et al., 2022). Além disso, a IA demonstrou ser extremamente eficaz na identificação automática dos dentes, na análise cefalométrica, assim como na deteção de cáries e de patologias periapicais, o que torna esta tecnologia particularmente valiosa para os dentistas (Ezhov et al., 2021; Gokdeniz & Kamburoğlu, 2022).

Em suma, a integração da IA nos métodos de imagem, nomeadamente a radiografia panorâmica 2D e a CBCT 3D, revolucionou a prática odontológica moderna, melhorando a precisão dos diagnósticos e otimizando o planeamento dos tratamentos (Singh et al., 2020).

3. Segmentação e Análise dos Seios Maxilares com IA

A integração da inteligência artificial (IA) na análise e segmentação dos seios maxilares marcou uma mudança significativa, especialmente para os enxertos ósseos pré-implantares. O seio maxilar, que é o maior dos quatro seios paranasais, tem uma forma piramidal e está localizado no corpo do maxilar. As suas paredes estão em contacto com estruturas importantes, como o soalho orbital, o processo zigomático lateralmente, a parte lateral da cavidade nasal na sua parte medial, e os processos alveolares e palatinos do maxilar, que constituem o pavimento sinusal, explicando a sua proximidade com as raízes dos dentes posteriores do maxilar (Morgan et al., 2022). Esta anatomia complexa torna o planeamento das intervenções cirúrgicas delicado, daí a importância de uma segmentação precisa, especialmente durante a elevação do pavimento sinusal para aumentar a altura óssea disponível para a implantação dentária (Bayrakdar et al., 2024).

A segmentação manual dos seios maxilares a partir das imagens CBCT (Cone Beam Computed Tomography) foi durante muito tempo a norma para avaliar as dimensões e a morfologia dos seios no planeamento de um enxerto ósseo. No entanto, esta abordagem não só é demorada como também está sujeita a erros de interpretação devido à complexidade da anatomia sinusal, às variações entre diferentes observadores, à experiência individual, à qualidade da imagem e ao contraste pouco marcado dos tecidos moles, o que pode tornar o processo longo e difícil (Bayrakdar et al., 2024; Morgan et al., 2022). Por exemplo, muitas vezes é difícil avaliar os septos sinusais ou as perfurações da membrana sinusal, que são fatores críticos a considerar no planeamento da intervenção cirúrgica. Outros métodos, como a segmentação semiautomática, otimizam a eficiência

do processo de segmentação, mas ainda requerem intervenções manuais que podem resultar em erros (Morgan et al., 2022).

O uso da IA, particularmente das redes neuronais convolucionais (CNN), transformou o processo de segmentação. Modelos como o U-Net demonstraram uma capacidade de segmentar automaticamente os seios maxilares com alta precisão, atingindo coeficientes de similaridade de Dice de até 98,4%, o que é comparável, ou até superior, aos métodos manuais. Este avanço não só melhorou a precisão da segmentação, como também reduziu consideravelmente o tempo necessário, passando de várias dezenas de minutos para apenas alguns minutos, oferecendo um ganho de tempo substancial para os profissionais (Bayrakdar et al., 2024; Morgan et al., 2022).

Além da melhoria da segmentação, a IA desempenha um papel crucial no planeamento e execução dos enxertos de elevação do pavimento sinusal. De facto, a IA permite identificar de forma precisa os septos sinusais, as variações anatómicas e as anomalias, como espessamentos da mucosa ou estados nebulosos do seio, elementos muitas vezes difíceis de detetar manualmente, mas essenciais para um enxerto bem-sucedido (Bayrakdar et al., 2024). Além disso, com a IA, é possível determinar com precisão a quantidade de osso a enxertar, o que melhora o planeamento cirúrgico e reduz os riscos de complicações (Morgan et al., 2022).

As vantagens da IA não se restringem ao planeamento cirúrgico. Ela também é extremamente útil e eficaz para o acompanhamento pós-operatório dos enxertos de elevação do pavimento sinusal. De facto, os algoritmos de aprendizagem automática permitem uma análise volumétrica e uma segmentação precisa dos seios e, conseqüentemente, do enxerto ósseo (Jung et al., 2021). Assim, eles podem facilitar a deteção precoce dos sinais de complicações ou falhas no tratamento, assegurando um acompanhamento a longo prazo da integração do enxerto ósseo ou do implante. A IA também permite acompanhar a evolução da cicatrização e a integração do enxerto ósseo de forma muito mais eficaz do que os métodos tradicionais, oferecendo uma análise volumétrica em tempo real e avaliações de densidade óssea.

A integração da IA na segmentação e análise dos seios maxilares representa um avanço considerável no diagnóstico, no planeamento e na realização dos enxertos de elevação do pavimento sinusal. A IA oferece uma ferramenta indispensável para a prática moderna da implantologia dentária. Ela permite melhorar o diagnóstico, a precisão da segmentação,

o planeamento cirúrgico e o acompanhamento pós-operatório, contribuindo para intervenções mais eficazes e resultados clínicos otimizados para os pacientes que necessitam de enxertos ósseos pré-implantares (Bayrakdar et al., 2024; Choi et al., 2022; Hwang et al., 2023; Morgan et al., 2022).

4. Objetivo

O processo de planeamento para o procedimento de enxertos ósseos dos seios maxilares com vista à colocação de implantes dentários constitui uma etapa crucial para a reabilitação de pacientes parcialmente ou totalmente desdentados que sofreram reabsorção óssea na região dos seios maxilares, representa um grande desafio para os implantologistas.

Atualmente, a planificação dos enxertos ósseos sinusais é facilitada pelo uso da tomografia volumétrica de feixe cónico (CBCT) e da tomografia computadorizada clássica (TC), que fornecem detalhes tridimensionais precisos das estruturas maxilofaciais. No entanto, a interpretação destas imagens continua a ser complexa, demorada e sujeita a erros humanos, muitas vezes relacionados com a complexidade anatómica dos seios maxilares ou com a experiência do profissional.

Assim, tínhamos como objetivo principal comparar a decisão e resultado da reabilitação óssea de uma paciente através da IA, com a reabilitação realizada por um profissional sem recurso a IA. Devíamos encontrar um software de inteligência artificial que integrasse técnicas de processamento de imagem e aprendizagem automática, para promover a análise automática e rigorosa de imagens CBCT e CT e propor planos de tratamento automatizados com simulações virtuais no contexto do aumento pré-implantar do pavimento sinusal com objetivo de facilitar a tomada de decisão ideal por parte do cirurgião-dentista e otimizar o sucesso deste tratamento complexo. Mas, após várias pesquisas, nenhum software de IA até à data foi suficientemente desenvolvido para permitir a geração de planos de tratamento automatizados para cumprido com sucesso a expectativa inicial do nosso objetivo.

Embora não tenhamos cumprido este objetivo, por falta de software que o possa realizar neste momento, surgiu um outro objetivo secundário, a avaliação das capacidades e limitações de um software de IA na análise automática das imagens CBCT e TC de um caso clínico no processo de enxerto ósseo sinusal, a fim de comparar a eficácia dos

resultados obtidos com a análise realizada pelo cirurgião-dentista e assim relata o estado da arte da utilização da IA nos procedimentos de enxertos ósseos sinusal.

Para tal, estudámos as imagens CBCT, TC e panorâmicas de um caso clínico antes e após um enxerto ósseo sinusal, que submetemos à análise do nosso software de IA Diagnocat, um dos softwares de IA mais desenvolvidos na área dentária para a análise automática de imagens CBCT, TC e panorâmicas.

As técnicas utilizadas, tais como as redes neuronais convolutivas (CNN), permitiram segmentar e identificar com precisão os seios maxilares, as estruturas ósseas circundantes e avaliar a quantidade de osso disponível. Os resultados permitiram-nos analisar as vantagens dos algoritmos de IA, pois a segmentação automatizada permite não só uma economia de tempo, mas também uma grande precisão, o que pode ajudar a reduzir os erros de interpretação humana. No entanto, também destacaram as suas desvantagens atuais, como a limitação à segmentação e não à criação de um plano de tratamento totalmente automatizado o que era o nosso objetivo inicial. Esta automatização da análise radiográfica contribui, assim, para um diagnóstico e um planeamento mais fiáveis e rápidos por parte do dentista. Mas esperamos que, nos próximos anos, mais possibilidades surjam graças às tecnologias de ponta, reduzindo as complicações pré e pós-operatórias através de uma automatização completa destes procedimentos, o que corresponderia ao nosso objetivo principal. Assim, a IA poderá, se já não o é, tornar-se uma ferramenta indispensável e uma norma futura nas práticas clínicas.

5. Materiais e Métodos

Nesta tese, tínhamos como objetivo principal comparar a decisão e resultado da reabilitação óssea de uma paciente através da IA, com a reabilitação realizada por um profissional sem recurso a IA. Devíamos encontrar um software de inteligência artificial capaz de promover a análise automática e rigorosa de imagens CBCT e CT e propor planos de tratamento automatizados com simulações virtuais no contexto dos enxertos ósseos sinusais. Mas, após várias pesquisas, nenhum software de IA até à data foi suficientemente desenvolvido para permitir a geração de planos de tratamento automatizados para cumprido com sucesso a expectativa inicial do nosso objetivo

Deste modo surgiu um outro objetivo secundário, a avaliação das capacidades e limitações de um software de IA na análise automática das imagens CBCT e TC de um

caso clínico no processo de enxerto ósseo sinusal, a fim de comparar a eficácia dos resultados obtidos com a análise realizada pelo cirurgião-dentista e assim relata o estado da arte da utilização da IA nas procedimentos de enxerto ósseo sinusal.

Para tal, estudámos as imagens CBCT, TC e panorâmicas de um caso clínico antes e após um enxerto ósseo sinusal, que submetemos à análise do nosso software de IA Diagnocat, para a análise automática de imagens CBCT, TC e panorâmicas.

Após uma pesquisa aprofundada sobre os softwares de IA na área de dentisteria, o Diagnocat foi selecionado para o nosso estudo. Graças a uma conversa telefónica para conhecer melhor as capacidades deste software e uma pesquisa de artigos no PubMed que utilizam o Diagnocat para suas análises, concluímos que se trata de um dos softwares mais desenvolvidos.

Para ter acesso à utilização deste software de IA em cloud, pagámos 149 dólares, e um membro da sua equipa contactou-nos para nos explicar detalhadamente o seu funcionamento, capacidades, limitações e as perspectivas futuras de desenvolvimento.

Assim foi utilizada Diagnocat para realizar a segmentação e análise das imagens e são avaliadas as diferentes capacidades e limitações da IA em relação ao procedimentos de enxertos ósseos. Os resultados obtidos são posteriormente comparados com os fornecidos pelo cirurgião-dentista.

O caso clínico selecionado cumpre vários critérios: trata-se de um paciente sem antecedentes médicos ou patologias significativas que tenha sido submetido a um enxerto ósseo sinusal bem-sucedido, com dados clínicos pré e pós-operatórios disponíveis. Os critérios de exclusão incluem pacientes com menos de 18 anos, casos em que o tratamento não corresponde ao objetivo da tese, casos em que o tratamento não foi bem-sucedido ou pacientes sem dados radiográficos utilizáveis antes e após a intervenção.

No âmbito da realização deste projeto, foi obtido o consentimento informado da paciente (**anexo A**), de acordo com as diretrizes éticas estabelecidas pelo Comité de Ética da Universidade Fernando Pessoa. Posteriormente, a autorização para este assunto foi submetida à Coordenação do Mestrado Integrado em Medicina Dentária e, finalmente, foi solicitada a apreciação do Comité de Ética da Universidade Fernando Pessoa (**anexo B**).

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica em uma base de dados online sobre PubMed para recolher artigos relevantes publicados nos últimos cinco anos. Os critérios de inclusão incluíam artigos escritos em inglês, francês e português, tratando da utilização de programas de IA na odontologia, na segmentação automática sinusais e na realização de enxertos ósseos sinusais pré-implantar. Foram considerados artigos de acesso livre para garantir a máxima disponibilidade e acessibilidade e com um intervalo temporal de cinco anos (2019-2024). Foram excluídos os artigos sem acesso livre ou que tratavam de outras aplicações da IA, sem relação direta com a medicina dentária, a segmentação e os enxertos sinusais, ou que datassem de mais de 5 anos. As palavras-chave utilizadas para a pesquisa incluem: “artificial intelligence in dentistry”, “CBCT”, “maxillary sinuses”, “bone grafts”, “implants”, “Diagnocat,” bem como combinações destes termos.

Após uma pesquisa inicial com os nossos termos-chave, um total de 2 329 artigos foram identificados. Após uma série de triagens aplicando os critérios de inclusão e exclusão, 1338 artigos foram retidos para uma avaliação mais aprofundada. Dentre estes, 247 artigos foram selecionados após a análise dos títulos com relevância temática. Após a análise dos resumos, 90 artigos foram retidos. Finalmente, após uma análise detalhada da elegibilidade do conteúdo de cada um desses artigos e a exclusão daqueles que não atendiam aos nossos critérios específicos, 21 artigos foram selecionados para inclusão final no nosso estudo.

Com exceção desta pesquisa realizada no PubMed, duas dissertações «Les greffes d’élévation sinusienne: critères de choix des techniques et nouvelles approches» de Chamak, 2019, e «Intelligence artificielle en odontologie» de Chambrion, 2022, provenientes de DUMAS foram selecionadas numa pesquisa adicional para a compreensão dos procedimentos mencionados nesta tese. Respeitando os nossos critérios de inclusão e exclusão, mostraram-se, por fim, úteis e foram citadas pela sua relevância científica. DUMAS é uma plataforma francesa de arquivos abertos para dissertações e trabalhos universitários, gerida pelo Centro para a Comunicação Científica Direta do Centro Nacional de Pesquisa Científica. A sua missão é divulgar amplamente os trabalhos académicos em acesso livre, respeitando os direitos de autor e a confidencialidade.

Inteligência artificial para a análise automática de imagens CBCT e TC. Aplicações no planeamento de enxertos ósseos. Estudo comparativo de um caso clínico

II. CASO CLÍNICO

Enxerto Ósseo Sinusal por Acesso Lateral seguido da Colocação de três Implantes para a reabilitação dos dentes 24, 25, 26 e 27 em uma paciente de 80 anos.

A paciente, de 80 anos, está em boa saúde geral e não apresenta antecedentes médicos significativos que possam influenciar a cirurgia ou a cicatrização, como diabetes ou doenças cardiovasculares. Ela consultou para uma reabilitação implantar na região posterior esquerda do maxilar, após uma edentação prolongada afetando os dentes 24, 25, 26 e 27. Esta perda de estimulação mecânica, devido à ausência dos dentes, resultou em uma reabsorção óssea significativa, limitando o volume ósseo disponível para a colocação dos implantes. Esta situação exigiu um enxerto ósseo sinusal prévio para recriar um volume ósseo adequado antes da implantação.

Do ponto de vista dentário, a paciente perdeu progressivamente os dentes posteriores esquerdos no nível do maxilar, em particular os dentes 24, 25, 26 e 27, devido a cáries avançadas e doenças periodontais. A edentação prolongada levou a uma reabsorção significativa do osso alveolar. A possibilidade de uma reabilitação com uma prótese removível parcial foi considerada, mas acabou sendo rejeitada pela paciente, que preferia uma solução fixa e estável a longo prazo.

O plano de tratamento selecionado para a reabilitação dos dentes 24, 25, 26 e 27 consistiu em duas intervenções distintas. A primeira intervenção, realizada em 16 de fevereiro de 2022, envolveu um enxerto ósseo sinusal por acesso lateral para aumentar o volume ósseo necessário para a futura colocação dos implantes. A segunda intervenção, que ocorreu em 4 de outubro de 2022, consistiu na colocação de três implantes Dentsply Sirona Astra EV de 9 mm, após a cicatrização e osteointegração do enxerto ósseo. O enxerto ósseo sinusal foi indispensável devido à insuficiência de altura óssea abaixo do seio maxilar esquerdo, medida manualmente em cerca de 2 a 3 mm, uma altura bem inferior aos 6 a 8 mm necessários para garantir a estabilidade primária dos implantes. Esta técnica cirúrgica permite criar um espaço entre o soalho do seio e a membrana sinusal, preenchido com um material de enxerto que favorece a osteointegração.

Antes da intervenção, foi realizado um estudo radiológico completo, incluindo radiografias panorâmicas e imagens CBCT. As radiografias panorâmicas (cf. Figura 4) mostraram uma reabsorção óssea significativa na região posterior esquerda do maxilar, com uma pneumatização aumentada do seio maxilar esquerdo. A altura óssea residual

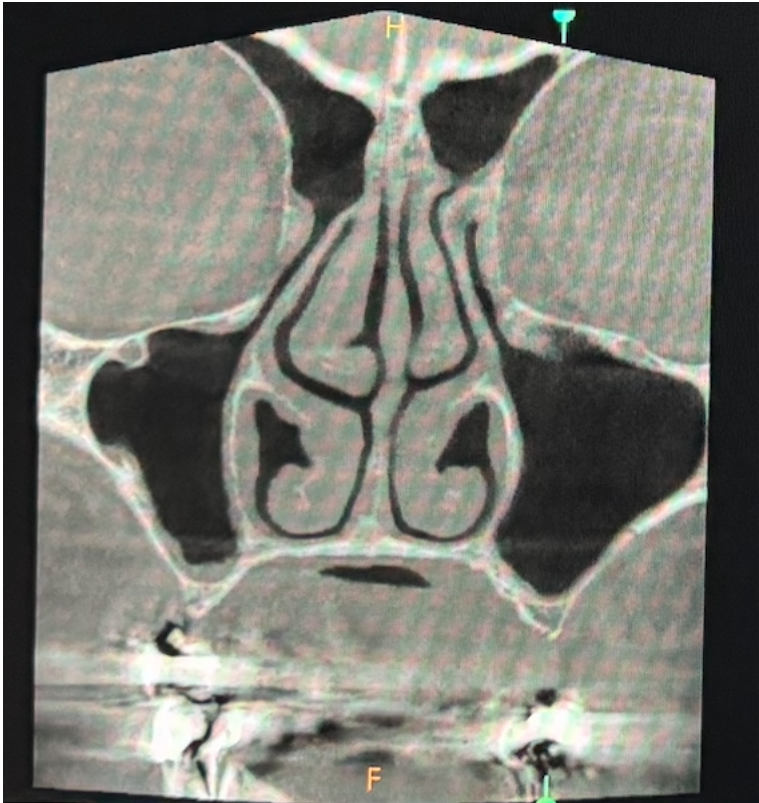
abaixo do soalho sinusal foi insuficiente para a colocação dos implantes. No entanto, as raízes dos dentes adjacentes estavam em boas condições e nenhuma patologia sinusal evidente foi detectada.

Figura 4. Ortopantomografia pré-enxerto ósseo



A análise dos cortes CBCT (cf. Figura 5) permitiu definir com maior precisão a anatomia do seio maxilar e avaliar a altura óssea disponível, que variava entre 2 e 3 mm, tornando impossível a reabilitação implantar direta. O seio maxilar esquerdo estava claramente pneumatizado, com uma expansão importante em direção à crista alveolar. A segmentação anatômica, bem como as medições nestas imagens, foram feitas manualmente pelo dentista para avaliar com precisão a área a ser tratada. A membrana de Schneider apareceu intacta, sem sinais de espessamento ou patologia, o que é crucial para o sucesso da elevação sinusal. Além disso, nenhum septo ósseo foi detectado no seio, o que simplificou a elevação sinusal e minimizou o risco de perfuração da membrana. Estas observações validaram a necessidade de uma elevação sinusal por acesso lateral, uma técnica clássica em casos de reabsorção óssea severa que necessitam de um aumento ósseo significativo.

Figura 5. CBCT pré-enxerto ósseo



A intervenção cirúrgica foi realizada em 16 de fevereiro de 2022, sob anestesia local, com precauções rigorosas para garantir uma asepsia completa. Foi feita uma incisão crestal, seguida de um descolamento de um retalho muco-periosteal para expor a parede óssea lateral do seio maxilar esquerdo. A janela lateral foi realizada com uma broca diamantada sob irrigação abundante, permitindo o acesso à membrana de Schneider sem sobreaquecimento ósseo, o que poderia comprometer a cicatrização. A membrana sinusal foi então levantada delicadamente com instrumentos específicos, criando um espaço sob o soalho sinusal destinado a receber o material de enxerto. Foi tomado cuidado especial para evitar qualquer perfuração da membrana, uma complicação que poderia causar sinusites ou perda do enxerto. A cavidade foi preenchida com um biomaterial osteocondutor sintético, escolhido por suas propriedades biocompatíveis e regeneradoras. Este material foi inserido gradualmente na cavidade para garantir uma distribuição homogênea e alcançar uma altura óssea superior a 10 mm, uma base suficiente para a futura colocação dos implantes.

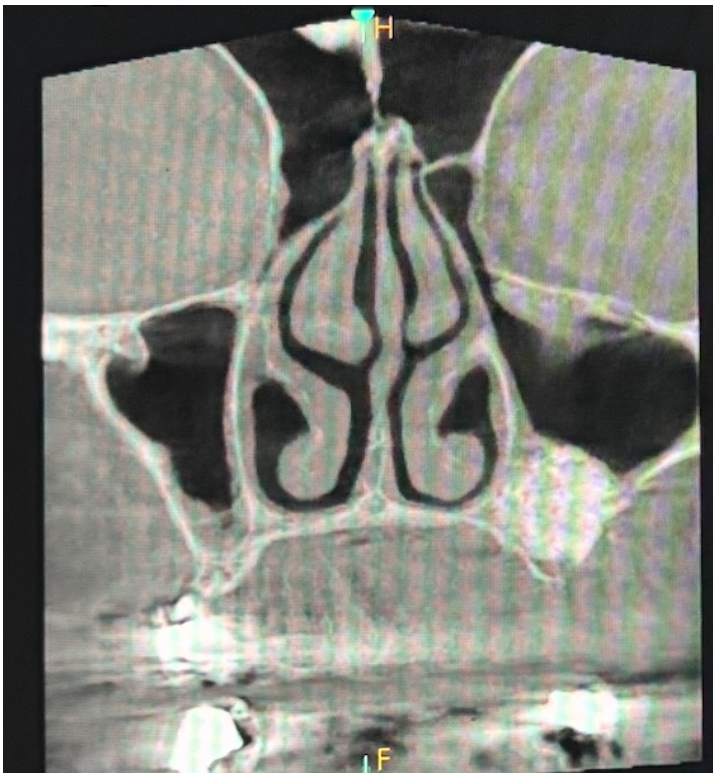
Uma vez feito o enxerto no local, pinos de fixação (ou mini parafusos) foram colocados para estabilizar o enxerto ósseo, mantendo o material de enxerto no lugar contra o osso

natural para que ele pudesse se integrar bem. O retalho muco-periosteal foi então reposicionado e suturado com suturas reabsorvíveis, garantindo um fechamento hermético do local.

O manejo pós-operatório incluiu uma antibioticoterapia profilática para prevenir infecções, anti-inflamatórios e analgésicos para controlar a dor e a inflamação, além de bochechos antissépticos para garantir uma cicatrização sem contaminação. Recomendações específicas foram dadas à paciente, como evitar qualquer atividade que pudesse aumentar a pressão sinusal, como assoar o nariz ou viajar de avião, a fim de proteger o enxerto.

As imagens CBCT pós-enxerto (cf. Figura 6) confirmaram o sucesso da intervenção, com preenchimento homogêneo do seio e um aumento da altura óssea para mais de 10 mm. A membrana sinusal permaneceu intacta e o biomaterial foi distribuído de forma homogênea, sem sinais de complicações.

Figura 6. CBCT pós-enxerto ósseo



No dia 4 de outubro de 2022, após um período de cicatrização de sete meses, três implantes Dentsply Sirona Astra EV de 9 mm foram colocados nos sítios dos dentes 24, 25 e 26. A intervenção começou com a reabertura do local cirúrgico, com verificação da estabilidade do enxerto ósseo. Os sítios dos implantes foram preparados com brocas de

diâmetro progressivo, adaptadas à densidade óssea obtida após o enxerto. Os três implantes foram inseridos com um torque otimizado para garantir estabilidade primária. O local cirúrgico foi então suturado com pontos reabsorvíveis, garantindo uma cicatrização sem tensão.

As imagens CBCT pós-implantação (cf. Figura 7) revelaram uma osteointegração de qualidade, com um volume ósseo suficiente para garantir uma estabilidade ótima dos implantes nos sítios 24, 25 e 26. O enxerto ósseo mostrou-se homogêneo e sem reabsorção excessiva.

Figura 7. CBCT pós-implantação



As radiografias panorâmicas (cf. Figura 8) confirmaram o bom alinhamento dos implantes, que estão corretamente posicionados ao longo da crista alveolar, sem sinais de reabsorção óssea ou complicações peri-implantares. Não houve qualquer complicação sinusal, o que permite seguir com confiança a reabilitação protética.

Figura 8. Ortopantomografia pós-implantação



Apesar dos riscos associados ao enxerto ósseo sinusal, como a perfuração da membrana de Schneider, infecção ou reabsorção do enxerto, nenhuma complicação importante foi observada neste caso. A integridade da membrana sinusal foi mantida graças às técnicas cirúrgicas precisas, a infecção foi evitada através de uma antibioticoterapia profilática rigorosa, e a reabsorção óssea excessiva foi evitada graças à qualidade da osteointegração confirmada pelas imagens CBCT.

Em conclusão, o caso clínico da paciente demonstra um manejo bem-sucedido da reabsorção óssea severa por meio de um enxerto ósseo sinusal por acesso lateral. Os resultados radiográficos pós-enxerto e pós-implantação confirmam uma osteointegração bem-sucedida e um volume ósseo suficiente para suportar implantes estáveis. Os resultados esperados a longo prazo são muito favoráveis, com uma reabilitação protética fixa planejada para restaurar a função mastigatória e a estética na região posterior esquerda do maxilar. Este caso destaca a importância de um planejamento cirúrgico rigoroso e uma gestão precisa dos riscos para garantir o sucesso dos enxertos ósseos sinusais no contexto das reabilitações implantares.

1. Apresentação e Descrição do Software Diagnocat

Diagnocat é um software de inteligência artificial (IA) especialmente desenvolvido para auxiliar os profissionais da área odontológica na análise e interpretação de imagens radiológicas. Com algoritmos avançados de aprendizagem automática, o Diagnocat analisa de forma precisa e eficiente as imagens dentárias em duas e três dimensões, incluindo radiografias panorâmicas, tomografias CBCT (Tomografia Computadorizada de Feixe Cónico) e imagens intraorais. Esta ferramenta inteligente e automatizada permite melhorar os diagnósticos, ao mesmo tempo que otimiza a planificação de tratamentos dentários complexos.

2. Funcionalidades Principais do Diagnocat

2.1 Análise Avançada de Imagens 2D e 3D

O Diagnocat baseia-se em algoritmos poderosos de inteligência artificial para oferecer uma análise aprofundada das imagens radiográficas dentárias. Quer se trate de radiografias panorâmicas ou de tomografias CBCT, o software fornece uma avaliação detalhada das estruturas bucais e dentárias. Ele identifica com precisão várias patologias, como cáries, infecções, doenças periodontais, fraturas, lesões ósseas e outras anomalias. Esta precisão permite aos profissionais obter informações cruciais para os seus diagnósticos, reduzindo consideravelmente o risco de erros humanos.

2.2 Relatórios Automatizados e Detalhados

Uma das grandes vantagens do Diagnocat reside na sua capacidade de gerar relatórios completos e automatizados após a análise das imagens. Estes relatórios incluem anotações claras e esquemas explicativos, proporcionando uma interpretação detalhada dos resultados. Esta funcionalidade facilita a compreensão das observações, tanto para os profissionais como para os pacientes. Com este processo automatizado, os dentistas podem rapidamente obter uma visão geral dos diagnósticos, acelerando a tomada de decisões clínicas.

2.3 Integração Fácil e Compatibilidade com Sistemas Existentes

O Diagnocat integra-se facilmente com os softwares de gestão dos consultórios dentários e com os sistemas de radiologia já existentes. Esta compatibilidade torna a sua utilização fluida no contexto das práticas diárias, sem necessidade de mudanças significativas nos

fluxos de trabalho. A facilidade de integração permite melhorar a produtividade ao mesmo tempo que garante a continuidade nos processos de cuidados, apoiando-se em ferramentas de análise avançada.

2.4 Assistência ao Diagnóstico e à Planificação dos Tratamentos

Além de oferecer análises precisas, o Diagnocat acompanha os profissionais na planificação dos tratamentos dentários. Ele revela-se particularmente eficaz nos procedimentos de implantes, propondo visualizações 3D detalhadas das estruturas anatómicas. Isto permite aos profissionais planear as suas intervenções com elevada precisão, tendo em conta as dimensões exactas do osso e optimizando a colocação dos implantes para garantir melhores resultados.

2.5 Ferramenta Pedagógica e de Formação

O Diagnocat também representa uma ferramenta pedagógica valiosa. Permite que estudantes e profissionais em formação examinem casos clínicos reais através de uma interface intuitiva e capacidades de análise automatizada. Esta funcionalidade contribui para uma melhor compreensão da anatomia dentária, das patologias e do seu tratamento, fazendo deste software um suporte educativo de primeira qualidade nas faculdades de odontologia.

3. Diagnocat e os Enxertos Ósseos Sinusais

A integração do Diagnocat nos procedimentos de enxerto ósseo sinusal apresenta vantagens cruciais durante a planificação e execução das intervenções.

3.1 Segmentação Automática e Precisa dos Seios Maxilares

Com os seus algoritmos de segmentação automática, o Diagnocat permite uma visualização precisa e rápida dos seios maxilares. Isso facilita a avaliação da altura óssea residual e a planificação dos enxertos ósseos. A segmentação automática melhora significativamente a eficácia da planificação, em comparação com os métodos manuais, que podem ser mais longos e sujeitos a erros.

3.2 Redução de Riscos e Complicações Cirúrgicas

O Diagnocat identifica com precisão as estruturas anatómicas essenciais, como a membrana de Schneider e os septos sinusais, que são frequentemente fontes de complicações durante as intervenções de elevação sinusal. Esta análise contribui para minimizar o risco de perfuração ou outras complicações pós-operatórias, melhorando assim os índices de sucesso dessas intervenções.

3.3 Maior Precisão na Planificação dos Implantes

Para os enxertos ósseos pré-implantares, o Diagnocat permite avaliar a quantidade de osso disponível e simular o aumento ósseo necessário para a colocação de implantes. Ele propõe sugestões baseadas na análise de uma vasta base de dados, otimizando os resultados cirúrgicos e melhorando a previsibilidade a longo prazo.

4. Vantagens do Diagnocat para a Odontologia Moderna

O Diagnocat impõe-se como uma ferramenta indispensável na prática diária dos profissionais da medicina dentária, graças a várias vantagens chave:

4.1 Precisão e Fiabilidade Acrescidas

Treinado a partir de uma vasta colecção de imagens radiológicas, o algoritmo do Diagnocat permite alcançar um elevado nível de precisão na detecção de anomalias bucais e dentárias, garantindo diagnósticos fiáveis e de qualidade.

4.2 Ganho de Tempo Significativo

O Diagnocat permite reduzir consideravelmente o tempo necessário para a análise das imagens, fornecendo resultados em poucos minutos. Isso melhora a eficiência dos consultórios dentários, acelerando os processos de diagnóstico e de planificação dos tratamentos.

4.3 Melhoria na Comunicação com os Pacientes

Graças aos relatórios detalhados e visuais que o Diagnocat gera, os profissionais podem explicar melhor os seus diagnósticos e as opções de tratamento aos pacientes. Isso reforça a compreensão dos pacientes sobre o seu estado de saúde bucal e melhora a sua satisfação em relação aos cuidados.

5. Diagnocat: uma Solução para a Odontologia Moderna

Concebido para responder às necessidades de vários profissionais dentários, sejam eles dentistas generalistas, implantologistas, ortodontistas, periodontologistas ou até cirurgiões bucais, o Diagnocat também é utilizado em centros de radiologia dentária e em instituições de ensino em odontologia. Ele ajuda a formar futuros profissionais, oferecendo-lhes casos clínicos reais e análises automatizadas.

A integração do Diagnocat nas práticas quotidianas permite aos profissionais de saúde bucal aceder a uma ferramenta poderosa e inovadora, capaz de otimizar não só o processo de diagnóstico, mas também a planificação de tratamentos complexos. Melhorando a qualidade dos cuidados oferecidos aos pacientes, o Diagnocat posiciona-se como um alicerce de inovação essencial para o desenvolvimento da odontologia digital moderna.

Esta descrição do software baseia-se nos dados presentes no site da Diagnocat, assim como numa descrição e explicação do seu funcionamento que nos foi dada por um representante durante uma reunião telefónica.

6. Analise

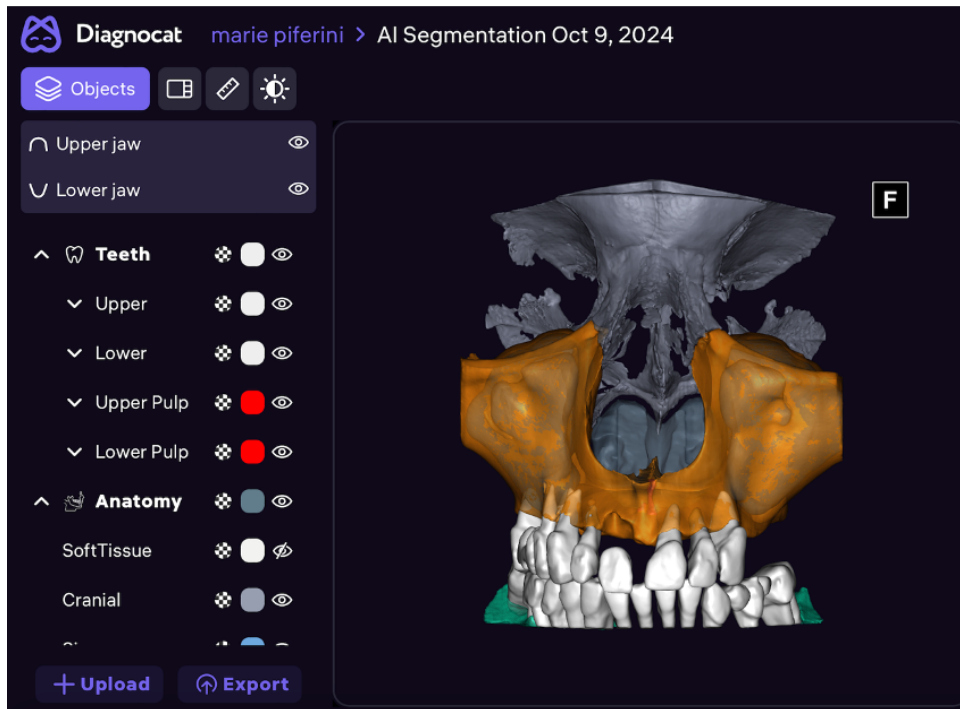
6.1 Parte 1: Segmentação automática e visualização com Diagnocat

No âmbito do nosso estudo do caso clínico da paciente, o Diagnocat foi utilizado para analisar as imagens CBCT da paciente. Graça à sua inteligência artificial, o Diagnocat permite uma segmentação automática em três dimensões das estruturas anatómicas da região maxilofacial, simplificando assim a análise e a planificação cirúrgica. Isso representa uma vantagem significativa, principalmente no contexto do enxerto ósseo sinusal.

Após a importação das imagens CBCT, o Diagnocat segmenta de forma autónoma as diferentes estruturas anatómicas essenciais, como o seio maxilar, a crista alveolar e as raízes dentárias residuais. Cada estrutura é automaticamente atribuída a uma cor específica para facilitar a sua distinção (cf. Figura 9). Por exemplo, os seios maxilares são coloridos em laranja, enquanto os dentes e os tecidos duros aparecem em branco. Esta

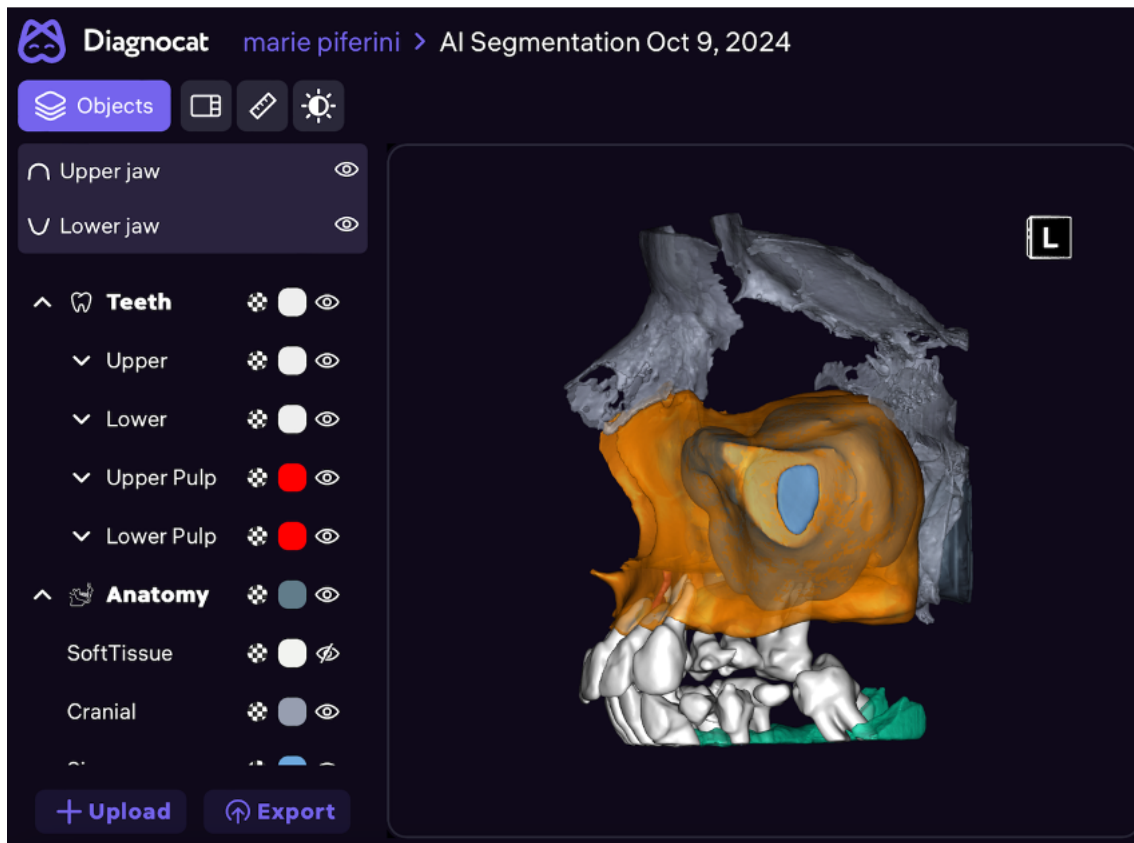
distinção visual permite uma leitura rápida das áreas anatómicas de interesse e ajuda a isolar facilmente as partes que necessitam de atenção, como o seio maxilar esquerdo no nosso caso.

Figura 9. Segmentação 1 (Cor)



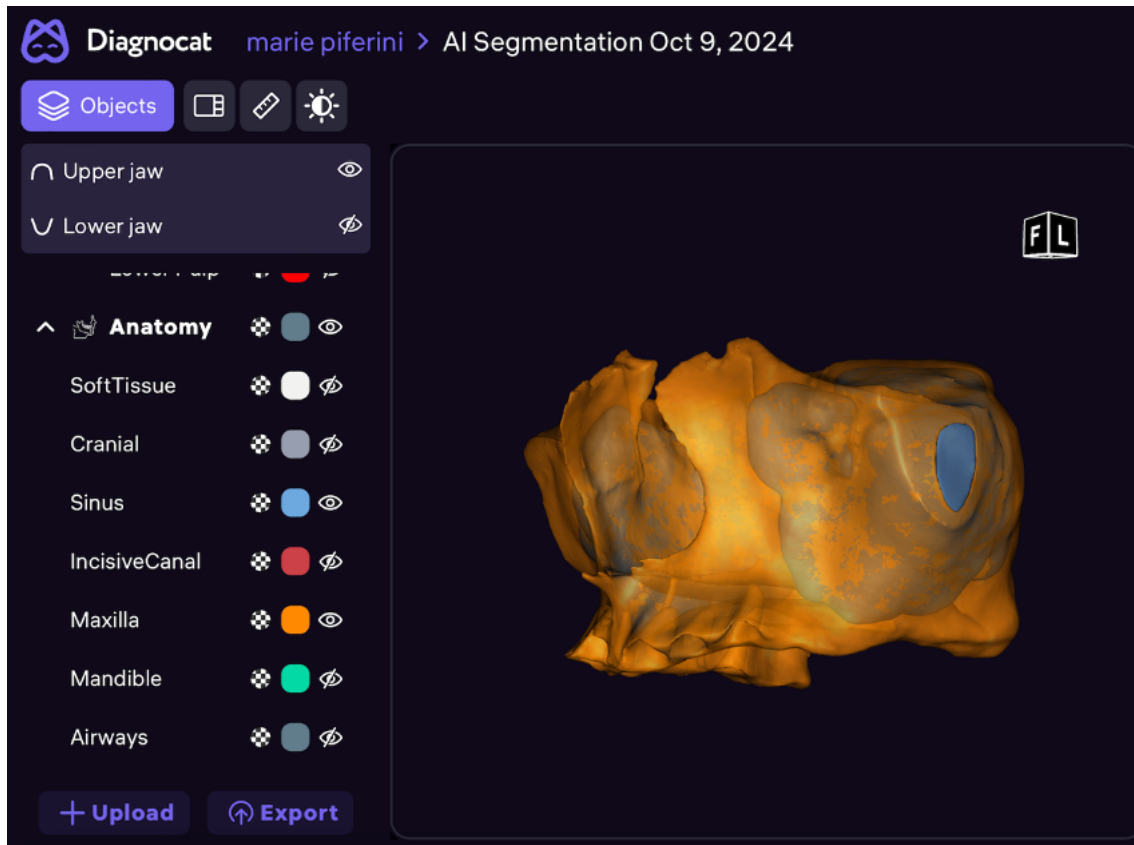
Outra vantagem do Diagnocat é a possibilidade de manipular as estruturas segmentadas num ambiente tridimensional (cf. Figura 10). Este modelo 3D interativo permite rodar as imagens e visualizá-las sob diferentes ângulos, oferecendo uma visão completa das relações entre as estruturas, nomeadamente entre o seio e a crista alveolar. Esta capacidade de explorar as imagens de forma dinâmica é particularmente útil para preparar uma intervenção de enxerto ósseo, pois permite uma melhor compreensão do espaço a trabalhar e uma avaliação da altura óssea disponível sob o pavimento sinusal.

Figura 10. Segmentação 2 (Modelo 3D)



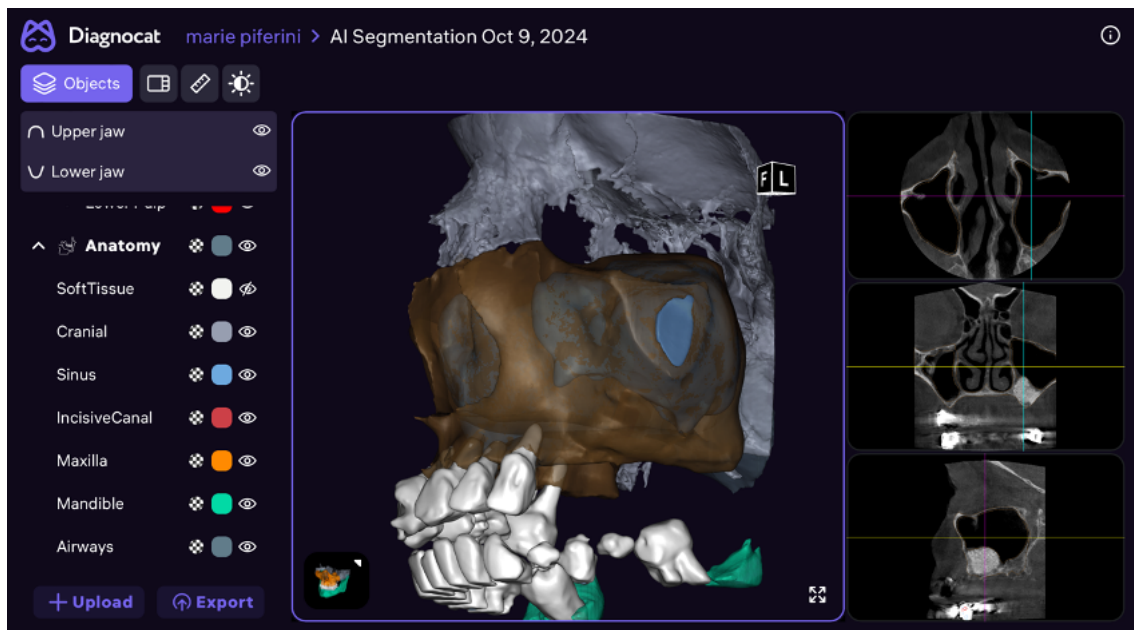
O Diagnocat também permite isolar certas estruturas para uma análise mais focada (cf. Figura 11). Por exemplo, o profissional pode ocultar os dentes ou outras partes não pertinentes para se concentrar apenas nos seios e no osso residual, facilitando assim a planificação do aumento ósseo. Esta flexibilidade na visualização ajuda a compreender melhor a anatomia específica do paciente e a antecipar as necessidades em termos de enxerto.

Figura 11. Segmentação 3 (Isolamento)



Por fim, o Diagnocat oferece a possibilidade de ajustar a cor e a transparência das estruturas, o que melhora ainda mais a legibilidade das imagens (cf. Figura 12). Ao alterar a opacidade de certas partes, é possível visualizar com mais precisão os volumes ósseos disponíveis, um aspecto crucial para uma intervenção como o enxerto sinusal.

Figura 12. Segmentação 4 (transparência)



6.2 Parte 2: Análise pré-operatória com Diagnocat

Durante a análise das imagens CBCT pré-operatórias da paciente, o Diagnocat facilitou a avaliação do estado inicial do seio maxilar esquerdo e da crista alveolar, elementos-chave na planificação da elevação do pavimento sinusal. Uma das funcionalidades particularmente úteis é a segmentação automática, que permitiu visualizar imediatamente as áreas que apresentavam uma reabsorção óssea severa. (cf. figuras 13 e 14)

Figura 13. Segmentation corte coronal pré-enxerto ósseo



Figura 14. Segmentação corte sagital pré-enxerto ósseo



Nas imagens segmentadas, a altura óssea residual sob o pavimento sinusal pôde ser medida utilizando a ferramenta de medição semi-manual do Diagnocat. Esta medição, realizada diretamente nas imagens segmentadas, revelou uma altura de osso de cerca de

3,8 mm, confirmando a necessidade de um aumento ósseo antes da colocação dos implantes. Embora as medições não sejam automáticas, a ferramenta de medição do Diagnostics é muito intuitiva e permite medições rápidas e precisas. Isto é particularmente importante para avaliar se a quantidade de osso existente é suficiente ou se será necessário um aumento ósseo mais significativo, como neste caso. (cf. figuras 15 e 16)

Figura 15. Segmentação e medida corte coronal pré-enxerto ósseo

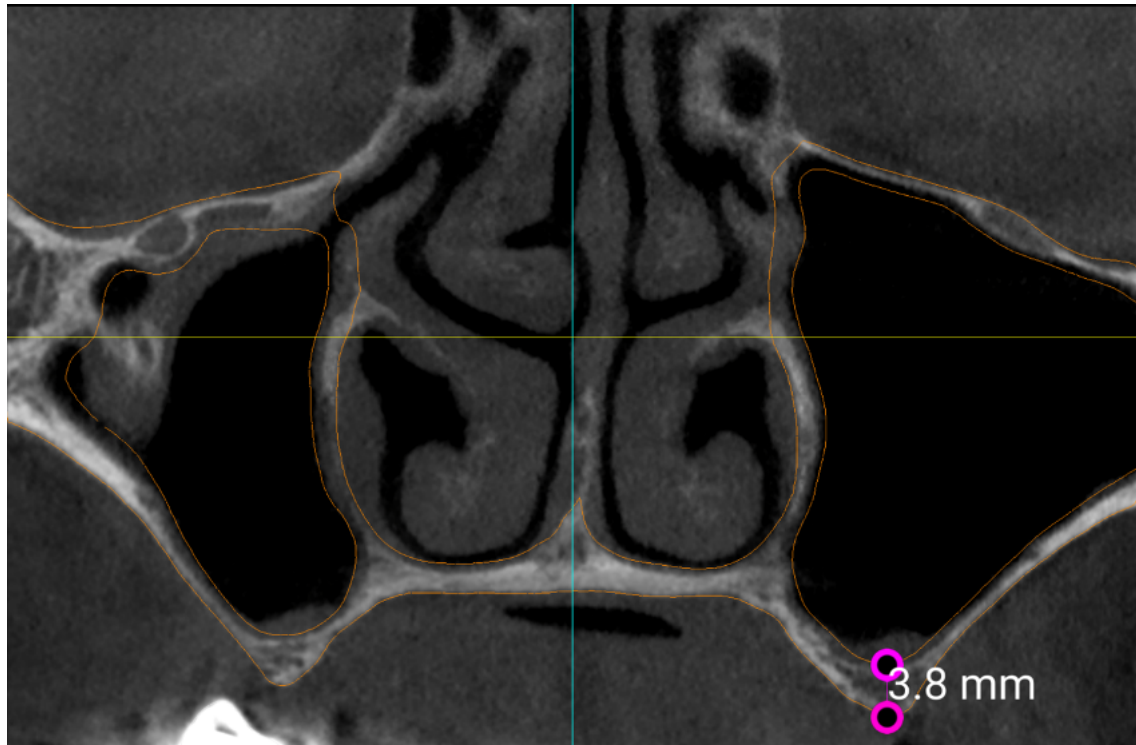
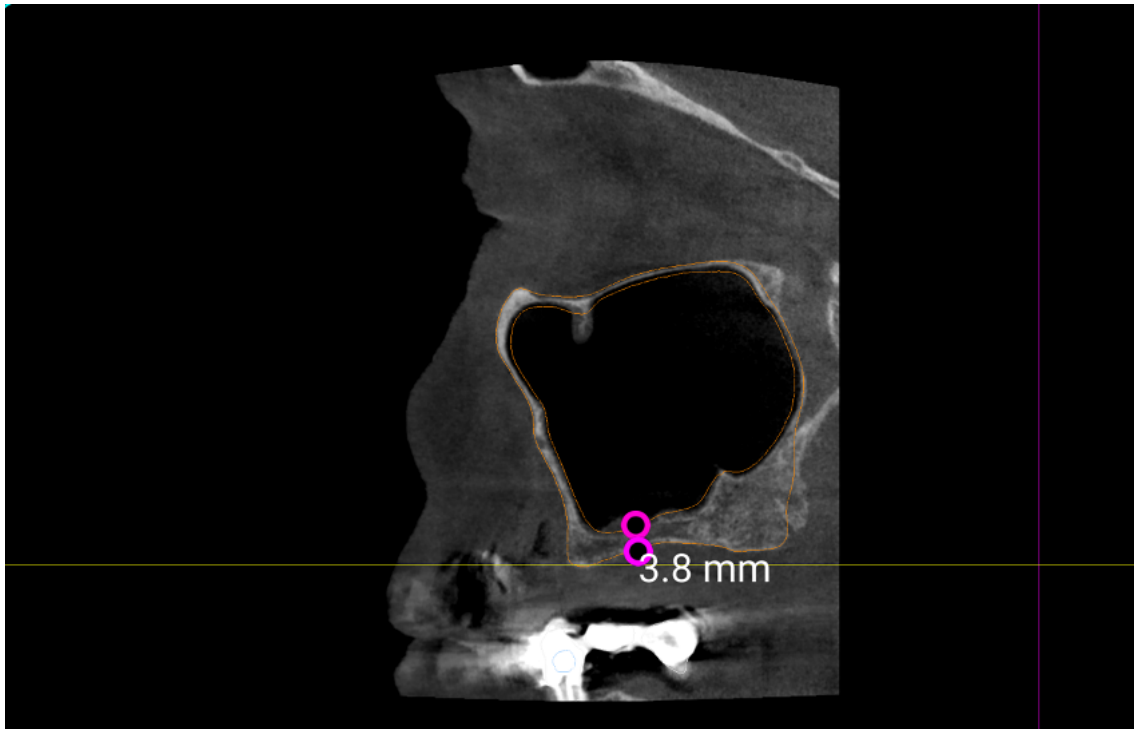


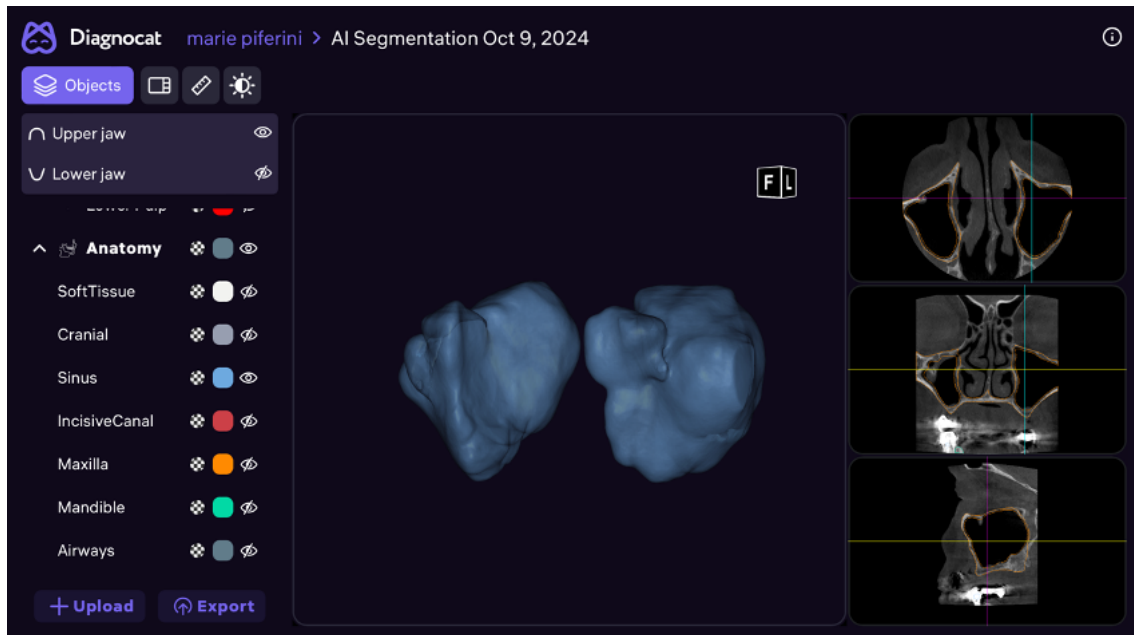
Figura 16. Segmentação e medida corte sagital pré-enxerto ósseo



Graças à segmentação automática, a membrana de Schneider também pôde ser claramente visualizada, e a sua integridade foi confirmada, um fator essencial para garantir o sucesso da elevação sinusal. A ausência de septos sinusais detectados no seio esquerdo simplificou a planificação cirúrgica e minimizou os riscos de perfuração da membrana.

A visualização multiplanar do Diagnostics também permite examinar as estruturas sob vários ângulos, fornecendo cortes coronais, axiais e sagitais das imagens CBCT (cf. Figura 17). Isso permite obter visões detalhadas e específicas das diferentes zonas a tratar. Esses cortes são particularmente úteis para observar a relação entre o seio maxilar, a crista alveolar e os dentes adjacentes. O Diagnostics permite, assim, uma boa avaliação do espaço disponível para o enxerto e a antecipação das possíveis dificuldades durante a intervenção cirúrgica.

Figura 17. Segmentação corte axial, coronal, sagital e modelo sinusais 3D pré- enxerto ósseo



Esta análise pré-operatória, facilitada pelo Diagnocat, estabeleceu as bases para uma planificação cirúrgica precisa, avaliando com clareza os volumes ósseos a serem aumentados para garantir a colocação segura e estável dos implantes.

6.3 Parte 3: Análise pós-operatória com Diagnocat

Após a intervenção de enxerto ósseo sinusal, o Diagnocat foi novamente utilizado para analisar as imagens CBCT pós-operatórias, de modo a verificar a integração do enxerto ósseo e avaliar os resultados da intervenção. O Diagnocat segmentou automaticamente as estruturas ósseas enxertadas, permitindo visualizar com precisão o volume ósseo adicionado. (cf. Figura 18)

Figura 18. Segmentação corte coronal pós-enxerto ósseo

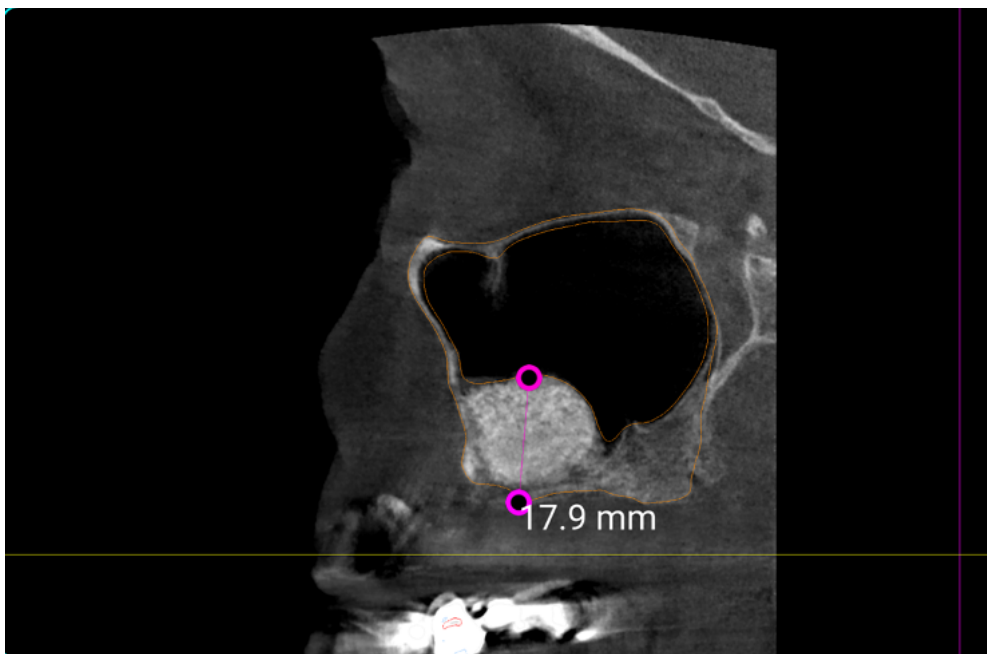


As imagens CBCT pós-enxerto mostram claramente que o seio maxilar esquerdo foi preenchido corretamente com o material de enxerto, e a altura óssea sob o pavimento sinusal foi medida em 17,9 mm através da ferramenta de medição manual (cf. figuras 19 e 20). Este aumento significativo na espessura óssea demonstra que o enxerto foi realizado com sucesso e que o local está agora preparado para receber implantes dentários de forma estável.

Figura 19. Segmentação e medida corte coronal pós-enxerto ósseo



Figura 20. Segmentação e medida corte sagital pós-enxerto ósseo

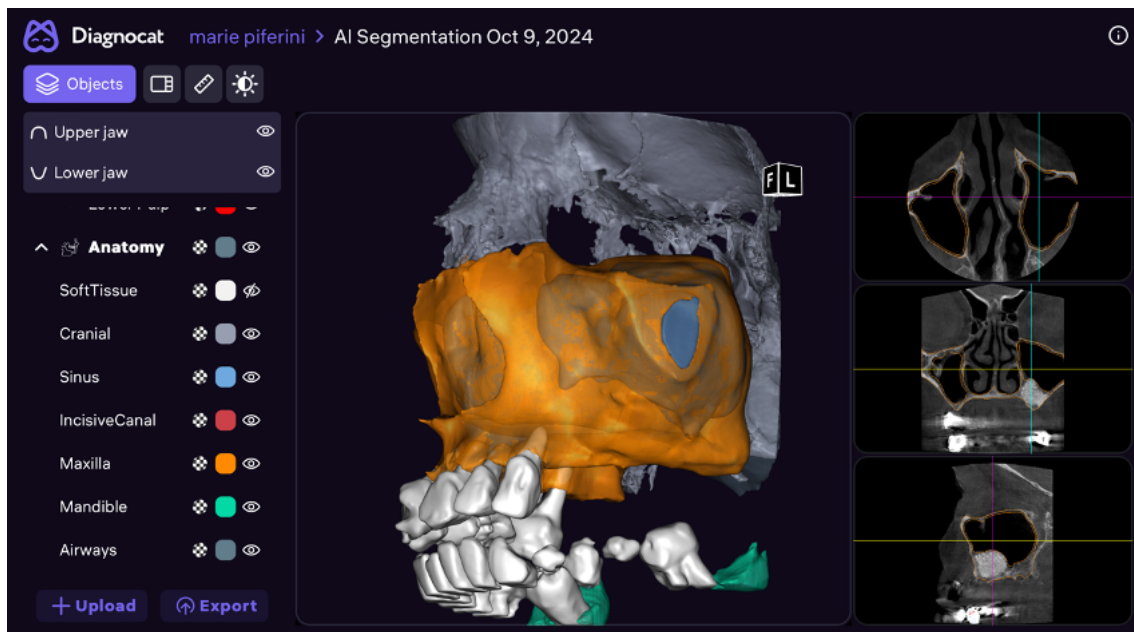


O Diagnocat também permitiu avaliar a integridade do enxerto ósseo e a sua distribuição homogénea na cavidade sinusal. A segmentação do enxerto mostrou uma boa integração,

sem sinais de reabsorção ou deslocamento. A ferramenta de medição também possibilitou confirmar que a altura óssea obtida após o enxerto é suficiente para garantir a estabilidade primária dos implantes futuros.

Ao visualizar as imagens em 3D, foi ainda possível verificar a integridade da membrana sinusal, que, neste caso, se manteve intacta após a intervenção, minimizando o risco de complicações pós-operatórias como infecções ou sinusites. (cf. Figura 21)

Figura 21. Segmentação corte axial, coronal, sagital e modelo 3D pós-enxerto ósseo



Graças ao Diagnocat, o seguimento pós-operatório foi facilitado, proporcionando uma visão clara e precisa do local enxertado (cf. Figura 21). Isto permitiu ao profissional validar o sucesso da intervenção e planejar com confiança as etapas seguintes, nomeadamente a colocação dos implantes dentários num osso estabilizado e bem integrado.

Em conclusão, o Diagnocat revelou-se uma ferramenta valiosa na análise das imagens CBCT da paciente, tanto em contexto pré-operatório como pós-operatório. Com a sua segmentação automática precisa, visualização 3D interativa e ferramentas de medição intuitivas, o Diagnocat facilita a planificação e o acompanhamento dos enxertos ósseos

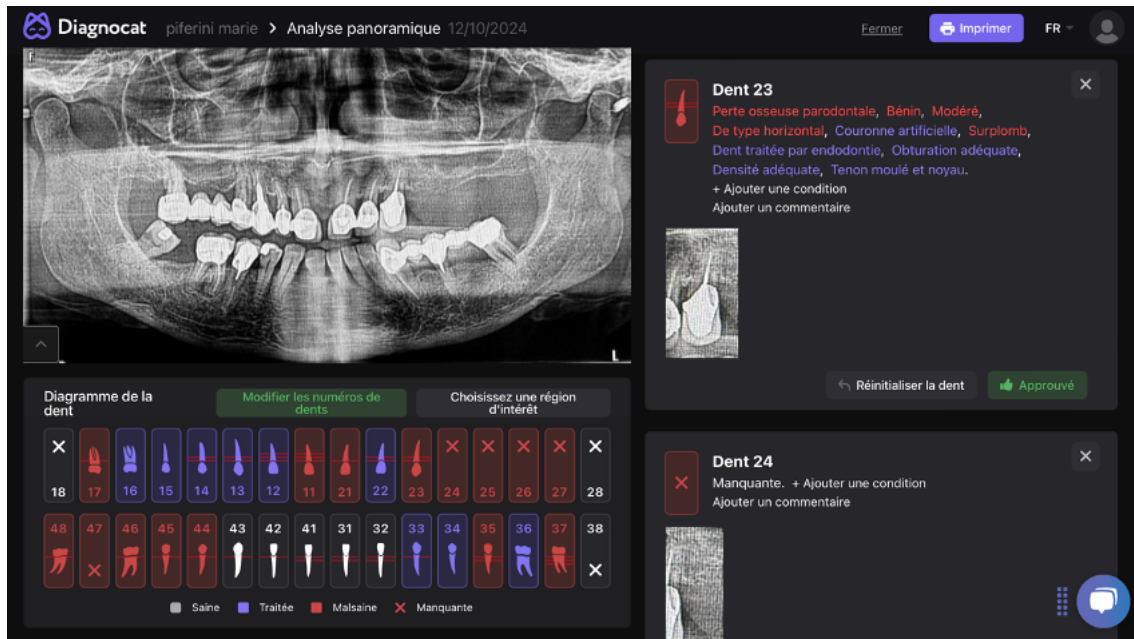
sinusais. Isto contribui para melhorar a qualidade do diagnóstico e otimizar o sucesso das intervenções cirúrgicas complexas, como as que envolvem a reabilitação com implantes dentários após aumento ósseo. Mas Diagnocat não foi suficientemente desenvolvido para permitir a geração de planos de tratamento automatizados com simulações virtuais.

7. Análise Panorâmica com Diagnocat

Como complemento à análise das imagens CBCT, o Diagnocat também propõe uma análise das radiografias panorâmicas. Contudo, o uso de uma radiografia panorâmica apresenta algumas limitações quando se trata de planificar um enxerto ósseo sinusal. O Diagnocat destaca-se na segmentação automática e na análise das estruturas dentárias nas panorâmicas, mas a sua utilidade concentra-se principalmente na avaliação do estado dos dentes e dos tecidos adjacentes. Na imagem panorâmica fornecida da paciente, o Diagnocat analisou cada dente individualmente, como pode ser observado no dente 23 (cf. Figura 22), que apresenta uma perda óssea periodontal moderada, uma coroa artificial, assim como um pino fundido.

O Diagnocat também propõe uma funcionalidade de avaliação rápida, onde atribui cores e códigos aos diferentes dentes conforme o seu estado. Por exemplo, os dentes saudáveis aparecem em azul, enquanto os dentes que necessitam de tratamento ou apresentam patologias são marcados em vermelho. A análise do dente 24 indica que ele está ausente, um facto identificado pelo software e incluído no seu relatório global. (cf. Figura 22)

Figura 22. Análise ortopantomografia com Diagnocat



Esta capacidade de segmentar e analisar cada dente de forma detalhada permite obter um relatório exaustivo das condições dentárias e periodontais da paciente. Este relatório, gerado automaticamente pelo Diagnocat, oferece uma visão geral das patologias observadas, facilitando a tomada de decisões relativamente aos tratamentos ou às restaurações necessárias. No entanto, para os requisitos específicos da análise dos seios e da planificação de um enxerto ósseo sinusal, a imagem panorâmica revela-se insuficiente. Não permite avaliar adequadamente a altura óssea residual sob o pavimento sinusal nem visualizar detalhadamente a membrana sinusal, como é possível com a análise das CBCT.

Em resumo, apesar de a análise panorâmica com o Diagnocat ser extremamente útil para diagnosticar e monitorizar as patologias dentárias e periodontais, ela permanece limitada no contexto da preparação de um enxerto sinusal, onde uma imagiologia tridimensional como a CBCT é essencial para um planeamento cirúrgico preciso.

Inteligência artificial para a análise automática de imagens CBCT e TC. Aplicações no planeamento de enxertos ósseos. Estudo comparativo de um caso clínico

III. DISCUSSÃO

1. Relembrando os objetivos do estudo:

O principal objetivo desta tese foi comparar a decisão e resultado da reabilitação óssea de uma paciente através da IA, com a reabilitação realizada por um profissional sem recurso a IA. Devíamos encontrar um software de inteligência artificial que integrasse técnicas de processamento de imagem e aprendizagem automática, para promover a análise automática e rigorosa de imagens CBCT e CT e propor planos de tratamento automatizados com simulações virtuais com objetivo de facilitar a tomada de decisão ideal por parte do cirurgião-dentista e otimizar o sucesso deste tratamento complexo. Mas, nenhum software de IA até à data foi suficientemente desenvolvido para permitir a geração de planos de tratamento automatizados para cumprido com sucesso a expectativa inicial.

Assim surgiu um segundo objetivo, a avaliação das capacidades e limitações de Diagnocat na análise automática das imagens CBCT e TC de um caso clínico no processo de enxerto ósseo sinusal, a fim de comparar a eficácia dos resultados obtidos com a análise realizada pelo cirurgião-dentista e assim relata o estado da arte da utilização da IA nas procedimentos de enxerto ósseo sinusal.

O caso clínico da paciente, de 80 anos, serviu como fio condutor desta análise. Este caso representava um desafio clínico importante devido à resorção óssea severa na região maxilar posterior esquerda. A intervenção consistiu num enxerto ósseo sinusal seguida da colocação de três implantes. Avaliámos este caso utilizando métodos convencionais e métodos assistidos por o software Diagnocat que nos forneceu uma segmentação anatómica automatizada.

Estudos anteriores, como os de Amasya et al. (2023), mostram que o uso do Diagnocat permite uma análise mais precisa e rápida das imagens CBCT, reduzindo erros humanos e melhorando a eficiência diagnóstica. Zadrožny et al. (2022) também evidenciam que o Diagnocat facilita o processo de decisão em contextos cirúrgicos complexos.

2. Análise comparativa da segmentação manual e automatizada com Diagnocat para CBCT e panorâmicas

A segmentação manual das imagens CBCT é um método reconhecido pela sua precisão, mas também é demorado e pode ser fonte de variações consoante a experiência do profissional (Bayrakdar et al., 2024; Morgan et al., 2022). No caso da paciente, a segmentação manual permitiu medir uma altura óssea residual de 2 a 3 mm sob o seio maxilar esquerdo, bem abaixo dos 10 mm necessários para garantir a estabilidade dos implantes. O cirurgião-dentista teve de identificar cada estrutura anatómica de forma minuciosa para evitar erros, o que exigiu tempo, principalmente devido à complexidade anatómica deste caso.

Por outro lado, a segmentação automática realizada pelo Diagnocat permitiu uma análise muito mais rápida das imagens CBCT. O software detectou os seios maxilares e segmentou automaticamente a região crítica sob o seio maxilar esquerdo, fornecendo uma visualização clara das estruturas ósseas em poucos minutos. Diagnocat confirmou que a altura óssea residual era de 3,8 mm, o que correspondia às medições obtidas semi-manualmente. A precisão do software, neste caso, permitiu planear com exactidão o enxerto ósseo.

Estudos como os de Bayrakdar et al. (2021) confirmam que o uso do Diagnocat permite uma segmentação mais rápida, sem comprometer a precisão, o que foi confirmado neste estudo. De acordo com Schulze et al. (2023), embora a IA seja eficiente para detectar patologias simples, ainda precisa de validação profissional para casos mais complexos. Além disso, Amasya et al. (2023) destacam que o uso da IA reduz a variabilidade entre observadores, o que é crucial para a padronização dos diagnósticos.

3. Importância da enxertia óssea sinusal para a reabilitação com implantes

Nos casos de resorção óssea severa, o enxerto ósseo sinusal é uma intervenção indispensável para permitir a reabilitação com implantes. A perda de volume ósseo sob o seio maxilar, frequentemente devido a uma pneumatização aumentada após edentulismo prolongado, torna a colocação de implantes impossível sem um aumento ósseo prévio (Chamak, 2019; Hwang et al., 2023). No caso clínico da paciente, o enxerto sinusal permitiu recriar um volume ósseo suficiente para a colocação dos implantes, aumentando a altura óssea para mais de 17,9 mm após a intervenção.

A planificação desta intervenção é crucial, pois o sucesso da reabilitação com implantes depende da estabilidade e da qualidade do osso regenerado. Diagnocat desempenhou um papel fundamental na fase pré-operatória, facilitando a identificação das zonas a enxertar e fornecendo uma visualização clara das estruturas críticas (Amasya et al., 2023; Bayrakdar et al., 2021). Esta capacidade de planear com precisão foi confirmada pelos resultados pós-operatórios.

4. Análise dos resultados pós-operatórios

Após o enxerto ósseo sinusal, a paciente foi acompanhada com novas imagens CBCT, analisadas novamente pelo Diagnocat. Os resultados pós-operatórios mostraram um aumento significativo da altura óssea sob o seio maxilar esquerdo, passando de 3,8 mm para 17,9 mm, confirmando o sucesso do enxerto. Diagnocat permitiu visualizar a regeneração óssea de forma precisa e confirmar a ausência de complicações, como perfurações da membrana sinusal. Além disso, observou-se uma distribuição homogénea do material enxertado, indicando uma boa estabilidade do enxerto e uma integração eficaz.

A medição precisa dos volumes ósseos e a avaliação da qualidade do osso regenerado foram realizadas em poucos minutos graças à segmentação automática. Amasya et al. (2023) referem que o Diagnocat é eficaz para o acompanhamento pós-operatório, permitindo a detecção precoce de complicações. Isso permitiu planear a colocação dos implantes de forma otimizada, garantindo um posicionamento preciso para assegurar a estabilidade a longo prazo dos implantes. Zadrožny et al. (2022) corroboram esta afirmação, salientando que a IA oferece uma análise rápida e precisa do progresso da regeneração óssea.

5. Vantagens e desvantagens do Diagnocat para a análise CBCT

5.1 Vantagens

O uso do Diagnocat apresenta várias vantagens notáveis. Primeiramente, o software reduziu consideravelmente o tempo necessário para a segmentação e análise das imagens CBCT, em comparação com a segmentação manual, que é demorada e complexa. Estudos

recentes, como o de Amasya et al. (2023), demonstraram que o Diagnocat pode reduzir o tempo de análise em mais de 80%, permitindo ao profissional obter resultados confiáveis em poucos minutos. Diagnocat conseguiu identificar as estruturas anatómicas principais, como os seios maxilares e a crista alveolar, e fornecer medições precisas. Neste caso, a medição obtida pelo Diagnocat para a altura óssea residual de 3,8 mm estava de acordo com a obtida manualmente (2 a 3 mm), o que demonstra a fiabilidade do software.

Além disso, o software oferece uma visualização tridimensional, permitindo ao profissional examinar as estruturas sob diferentes ângulos e compreender melhor as relações anatómicas, nomeadamente entre os seios maxilares e as raízes dentárias residuais. Bayrakdar et al. (2021) corroboram que essa visualização 3D aumenta a capacidade dos profissionais de identificar zonas críticas e minimizar erros durante a planificação cirúrgica.

5.2 Desvantagens e perspetivas de melhoria

Apesar das suas muitas vantagens, o Diagnocat apresenta algumas limitações. Embora seja capaz de segmentar automaticamente as estruturas anatómicas críticas, ainda não oferece uma automatização completa do diagnóstico ou da planificação dos tratamentos. Segundo Schulze et al. (2023), a ferramenta ainda requer a intervenção do profissional para validar certas etapas, especialmente em casos clínicos complexos, como perfurações da membrana sinusal ou anomalias anatómicas.

Durante as nossas conversas com um representante do Diagnocat e com a empresa Arcon, ficou claro que, embora as tecnologias atuais sejam já muito avançadas, ainda não oferecem uma automatização completa do diagnóstico, análise e planificação dos enxertos ósseos sinusais com simulações virtuais. Inicialmente, pensávamos que a IA já seria capaz de gerir todo o processo, desde o diagnóstico até à planificação do tratamento, mas isto ainda está em desenvolvimento. Zadrožny et al. (2022) também mencionam que, embora a IA tenha avançado rapidamente, ainda há limitações na sua aplicação em casos altamente complexos que exigem uma adaptação individualizada do tratamento.

Segundo os representantes, as melhorias futuras destas ferramentas deverão permitir, num futuro próximo (dentro de um ano), alcançar um nível muito mais elevado de automatização. Estes avanços permitirão uma abordagem mais completa, incluindo a

geração automática de planos de tratamento para enxertos ósseos pré-implantares. Isto representa uma verdadeira mudança na aplicação da IA em odontologia, tanto do ponto de vista clínico quanto tecnológico.

6. Comparação com outros estudos sobre a segmentação automatizada dos seios maxilares

Os resultados obtidos com Diagnocat neste estudo estão em consonância com os de outras pesquisas recentes que utilizaram inteligência artificial para a segmentação dos seios maxilares a partir de imagens CBCT. Por exemplo, o estudo de Morgan et al. (2022) utilizando um modelo U-Net mostrou uma elevada precisão, com um coeficiente de Dice (DSC) de 98,4% e uma segmentação automática que durou 0,4 minutos, em comparação com os 60,8 minutos dos métodos semi-automáticos. Já o estudo de Bayrakdar et al. (2024), utilizando um modelo nnU-Net v2, relatou um DSC de 96%, confirmando a fiabilidade destas ferramentas na segmentação automática. Estes estudos, tal como o nosso, mostram que as tecnologias de IA permitem não só um ganho de tempo considerável, como também fornecem resultados suficientemente precisos para a planificação de intervenções cirúrgicas complexas. Diagnocat distingue-se ainda pela sua rapidez de processamento e pela ausência de necessidade de pós-processamento manual, oferecendo assim uma ferramenta valiosa para a prática clínica diária.

7. Introdução dos softwares de inteligência artificial em odontologia

O desenvolvimento de softwares de inteligência artificial em odontologia transformou a forma como as imagens radiográficas são analisadas e os tratamentos planificados. Vários softwares, cada um com as suas especificidades, são hoje amplamente adotados pelos profissionais. Allisone é um dos principais softwares para análise de radiografias panorâmicas, capaz de detetar automaticamente várias patologias dentárias. SpotIMPLANT, por sua vez, especializa-se na identificação de implantes a partir de imagens radiográficas, facilitando a gestão dos pacientes implantados. DentalXrai Pro* destaca-se pela sua capacidade de diagnosticar patologias dentárias a partir de radiografias intra-orais e panorâmicas, enquanto ferramentas como Invisalign e ORCA Dental AI se concentram na planificação ortodôntica a partir de modelos 3D. Estes

softwares mostram que a inteligência artificial já está no coração da prática dentária moderna, contribuindo para automatizar certas etapas do diagnóstico e melhorar a precisão dos tratamentos (Chambrion, 2022).

Neste contexto, Diagnocat destaca-se como uma ferramenta particularmente eficaz para a gestão de casos de reabilitação implantar complexos, principalmente graças à sua capacidade de analisar rapidamente as imagens CBCT e fornecer medições fiáveis para a planificação das enxertias ósseas sinusais. Comparando esses diferentes softwares, é evidente que a inteligência artificial na odontologia está em plena expansão, com um potencial ainda maior a ser explorado nos próximos anos.

8. Perspetivas futuras e abertura para a educação e prática clínica

A introdução da inteligência artificial em odontologia, ilustrada aqui pelo Diagnocat, abre perspectivas significativas, não apenas em termos de planificação cirúrgica, mas também no campo da educação dos futuros profissionais. Vários estudos mostram que a IA pode desempenhar um papel central na formação em odontologia, nomeadamente integrando ferramentas avançadas de simulação numérica e tecnologias imersivas, como a realidade aumentada (Thurzo et al., 2023). Estas inovações permitiriam que os estudantes se formassem em ambientes mais interativos e praticassem em condições clínicas simuladas. Esta abordagem pode promover uma melhor preparação para o uso das tecnologias digitais na prática diária (Islam et al., 2022).

No entanto, um estudo recente revelou que muitos estudantes e profissionais dentários ainda carecem de um conhecimento aprofundado sobre a IA e as suas aplicações concretas na clínica (Islam et al., 2022). Isto sublinha a importância de desenvolver programas de formação contínua para integrar estas tecnologias de forma ideal na prática. Além disso, é crucial que os currículos universitários incluam, de forma mais sistemática, a IA e os seus usos no contexto dos cuidados dentários complexos (Thurzo et al., 2023).

Além disso, a IA apresenta oportunidades significativas para melhorar o acesso aos cuidados. A inteligência artificial poderia facilitar a gestão dos recursos e otimizar a organização dos cuidados dentários para as populações subatendidas (Thurzo et al., 2023). A longo prazo, a IA pode transformar a odontologia, permitindo diagnósticos mais precisos, abordagens preventivas personalizadas e um melhor acesso aos cuidados,

especialmente em regiões onde o acesso aos profissionais de saúde é limitado (Islam et al., 2022).

O futuro das tecnologias de inteligência artificial na odontologia parece muito promissor, tanto para os profissionais como para os pacientes. É essencial que os cirurgiões-dentistas continuem a ser formados no uso destas ferramentas para maximizar o seu potencial, mantendo um elevado nível de qualidade nos cuidados (Thurzo et al., 2023). Neste contexto, o Diagnocat e outras tecnologias de IA continuarão a evoluir, permitindo um acompanhamento mais eficaz e rápido dos pacientes, especialmente na planificação e no seguimento das enxertias ósseas sinusais (Islam et al., 2022).

Inteligência artificial para a análise automática de imagens CBCT e TC. Aplicações no planeamento de enxertos ósseos. Estudo comparativo de um caso clínico

IV. CONCLUSÃO

Para concluir, não conseguimos cumprir o objetivo principal da tese. Devido às limitações atuais dos softwares de IA, incapazes de garantir um planeamento totalmente automatizado não foi possível de comparar a decisão e resultado da reabilitação óssea de uma paciente de forma totalmente automatizada através da IA, com a reabilitação realizada por um profissional sem recurso a IA. Assim foi estabelecido o segundo objetivo, a avaliação das capacidades e limitações de Diagnocat na análise automática das imagens CBCT e TC de um caso clínico no processo de enxerto ósseo sinusal, a fim de comparar a eficácia dos resultados obtidos com a análise realizada pelo cirurgião-dentista e assim relata o estado da arte da utilização da IA nas procedimentos de enxerto ósseo sinusal.

Esta tese insere-se, portanto, num contexto de transformação digital, onde a inteligência artificial (IA) ocupa um lugar cada vez mais importante na área médica, e especificamente na odontologia. Mas muitas inovações e avanços, como a automação completa na análise e nos planos de tratamento que pensávamos já terem sido desenvolvidos, ainda está por vir. O desenvolvimento de tecnologias como o software Diagnocat suscitou muitas expectativas relativamente à melhoria da planificação e do acompanhamento das intervenções cirúrgicas complexas, nomeadamente os enxertos ósseos sinusais com vista à reabilitação com implantes. Através da análise de um caso clínico concreto, o da paciente, com 80 anos e apresentando uma resorção óssea severa na região maxilar posterior esquerda, esta tese explorou as vantagens e as limitações da IA neste contexto particular. Os resultados obtidos, bem como as reflexões que suscitaram, permitem-nos tirar várias conclusões importantes.

Em primeiro lugar, é importante destacar que o Diagnocat demonstrou grande eficácia em termos de segmentação automática das estruturas anatómicas, em particular do seio maxilar. A comparação com a segmentação manual realizada por um cirurgião-dentista experiente revelou que o software Diagnocat forneceu resultados comparáveis, tanto em termos de precisão como de fiabilidade. A altura óssea residual antes da enxertia, medida em 3,8 mm pelo Diagnocat, estava em perfeita concordância com a obtida manualmente (2 a 3 mm). Este grau de precisão permitiu elaborar um plano de tratamento claro e otimizar a preparação cirúrgica. O ganho de tempo é outro aspeto fundamental a considerar: enquanto a segmentação manual requer várias horas de trabalho, o Diagnocat

permitiu obter resultados semelhantes em poucos minutos, oferecendo assim ao profissional uma maior eficiência na gestão dos seus casos clínicos. Isto representa um progresso indiscutível na otimização dos fluxos de trabalho nos consultórios dentários.

Depois, é importante destacar o interesse da inteligência artificial para o acompanhamento pós-operatório das enxertias ósseas. O Diagnocat permitiu acompanhar a progressão da cicatrização óssea e avaliar a integração do enxerto com uma precisão notável. Os resultados pós-operatórios mostraram um aumento da altura óssea para 17,9 mm, confirmando assim o sucesso da intervenção. Esta capacidade de visualizar e medir precisamente as estruturas regeneradas permitiu verificar a ausência de complicações, como a perfuração da membrana sinusal ou a resorção excessiva do enxerto. O Diagnocat revelou-se, portanto, uma ferramenta valiosa não só na planificação pré-operatória, mas também na validação dos resultados pós-operatórios.

No entanto, apesar das muitas vantagens oferecidas pelo Diagnocat, ficou claro que a inteligência artificial ainda não é totalmente autónoma na gestão de casos complexos. As nossas conversas com os representantes do Diagnocat e da empresa Arcon evidenciaram as limitações atuais da automatização na planificação das enxertias ósseas sinusais. De facto, embora o Diagnocat seja capaz de segmentar automaticamente as estruturas anatómicas, ainda necessita da intervenção humana para validar certas etapas, particularmente nas situações em que podem surgir variações anatómicas ou complicações imprevistas, como as perfurações da membrana sinusal. Se inicialmente pensávamos que a inteligência artificial já era capaz de fornecer um diagnóstico completo e um plano de tratamento totalmente automatizado com simulações virtuais, percebemos que estas tecnologias ainda estão em fase de desenvolvimento. Contudo, as discussões com estes atores do setor revelaram que estão a ocorrer progressos rápidos, e é razoável pensar que, a curto prazo, surgirão sistemas totalmente automatizados.

Num futuro próximo, os softwares de inteligência artificial deverão ser capazes de gerir não só a segmentação das imagens CBCT, mas também todo o processo de planificação, desde o diagnóstico inicial até à geração automática do plano de tratamento para enxertias ósseas sinusais pré-implantares. Isto abriria caminho para uma automatização quase completa das etapas pré-operatórias, oferecendo aos profissionais uma ajuda preciosa para gerir casos clínicos complexos, ao mesmo tempo que reduz os riscos de erros humanos e aumenta a qualidade dos cuidados prestados aos pacientes.

Para além do aspeto técnico, esta tese também levantou questões mais amplas sobre o impacto da inteligência artificial na formação dos cirurgiões-dentistas. É inegável que a IA, como ferramenta de auxílio à decisão, está destinada a tornar-se um elemento central da prática clínica diária. Os resultados do nosso estudo sublinham a necessidade de os profissionais se familiarizarem com estas tecnologias e de adaptarem a sua prática a esta nova era digital. Além disso, é essencial integrar a IA nos currículos universitários, de forma a formar as futuras gerações de dentistas na utilização destas ferramentas. O aprendizado de softwares como o Diagnocat, combinado com simulações clínicas imersivas baseadas em realidade aumentada, permitiria aos estudantes formarem-se em ambientes interativos e praticarem em condições próximas da realidade clínica. Isto melhoraria significativamente a sua preparação para a prática digital e a sua capacidade de explorar plenamente as tecnologias de inteligência artificial para melhorar os cuidados aos pacientes.

Em conclusão, esta tese demonstrou que a inteligência artificial, embora ainda em desenvolvimento, oferece vantagens para a planificação e o acompanhamento das enxertias ósseas sinusais para o cirurgião-dentista. O Diagnocat impõe-se como uma ferramenta eficaz, capaz de melhorar a precisão das intervenções cirúrgicas e otimizar o tempo de tratamento graças à sua segmentação automática rápida e precisa. No entanto, ainda são necessárias melhorias para permitir uma automatização completa do processo, especialmente em casos clínicos complexos. As perspetivas de evolução são promissoras, e é provável que num futuro próximo a IA desempenhe um papel central na gestão dos tratamentos dentários complexos, com uma automatização completa dos diagnósticos e dos planos de tratamento. É, portanto, essencial que os cirurgiões-dentistas continuem a ser formados nestas tecnologias para tirar o melhor proveito das mesmas, tanto para a sua prática como para a qualidade dos cuidados que prestam aos seus pacientes.

Inteligência artificial para a análise automática de imagens CBCT e TC. Aplicações no planeamento de enxertos ósseos. Estudo comparativo de um caso clínico

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amasya, H., Alkhader, M., Serindere, G., Futyma-Gąbka, K., Aktuna Belgin, C., Gusarev, M., Ezhov, M., Różyło-Kalinowska, I., Önder, M., Sanders, A., Costa, A. L. F., Lopes, S. L. P. C., & Orhan, K. (2023). Evaluation of a decision support system developed with deep learning approach for detecting dental caries with cone-beam computed tomography imaging. *Diagnostics*, *13*, 3471. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13223471>
- Bayrakdar, I. S., Elfayome, N. S., Hussien, R. A., Gulsen, I. T., Kuran, A., Gunes, I., Al-Badr, A., Celik, O., & Orhan, K. (2024). Artificial intelligence system for automatic maxillary sinus segmentation on cone beam computed tomography images. *Dentomaxillofacial Radiology*, *53*(4), 256–266. <https://doi.org/10.1093/dmfr/twae012>
- Bayrakdar, S. K., Orhan, K., Bayrakdar, I. Ş., Bilgir, E., Ezhov, M., Gusarev, M., & Shumilov, E. (2021). A deep learning approach for dental implant planning in cone-beam computed tomography images. *BMC Medical Imaging*, *21*(86). <https://doi.org/10.1186/s12880-021-00618-z>
- Chambrion, J. (2022). *Intelligence artificielle en odontologie* [Thèse pour le diplôme d'État de docteur en chirurgie dentaire, Université Clermont Auvergne]. HAL Archives Ouvertes. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04469993>
- Chamak, D. (2019). *Les greffes d'élévation sinusienne : critères de choix des techniques et nouvelles approches* [Thèse pour le diplôme d'État de docteur en chirurgie dentaire, Université Paris Descartes]. HAL Archives Ouvertes. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02391287>
- Chakravorty, S., Aulakh, B. K., Shil, M., Nepale, M., Puthenkandathil, R., & Syed, W. (2024). Role of artificial intelligence (AI) in dentistry: A literature review. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, *16*(S1), S14-S16. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_466_23
- Choi, H., Jeon, K. J., Kim, Y. H., Ha, E. G., Lee, C., & Han, S. S. (2022). Deep learning-based fully automatic segmentation of the maxillary sinus on cone-beam computed tomographic images. *Scientific Reports*, *12*, 14009. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18436-w>
- Dashti, M., Londono, J., Ghasemi, S., Khurshid, Z., Khosraviani, F., Moghaddasi, N., Zafar, M. S., & Hefzi, D. (2024). Attitudes, knowledge, and perceptions of dentists and dental students toward artificial intelligence: A systematic review. *Journal of*

Taibah University Medical Sciences, 19(2), 327–337. <https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2023.12.010>

Diagnocat. (n.d.). *AI-powered dental imaging solutions*. <https://diagnocat.com>

Ezhov, M., Gusarev, M., Golitsyna, M., Yates, J. M., Kushnerev, E., Tamimi, D., Aksoy, S., Shumilov, E., Sanders, A., & Orhan, K. (2021). Clinically applicable artificial intelligence system for dental diagnosis with CBCT. *Scientific Reports*, 11(1), Article 15006. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94093-9>

Hwang, I.-K., Kang, S.-R., Yang, S., Kim, J.-M., Kim, J.-E., Huh, K.-H., Lee, S.-S., Heo, M.-S., Yi, W.-J., & Kim, T.-I. (2023). SinusC-Net for automatic classification of surgical plans for maxillary sinus augmentation using a 3D distance-guided network. *Scientific Reports*, 13, 11653. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38273-9>

Islam, N. M., Laughter, L., Sadid-Zadeh, R., Smith, C., Dolan, T. A., Crain, G., & Squarize, C. H. (2022). Adopting artificial intelligence in dental education: A model for academic leadership and innovation. *Journal of Dental Education*, 86(11), 1545–1551. <https://doi.org/10.1002/jdd.13010>

Kaasalainen, T., Ekholm, M., Siiskonen, T., & Kortensniemi, M. (2021). Dental cone beam CT: An updated review. *Physica Medica*, 88, 193–217. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2021.07.007>

Morgan, N., Van Gerven, A., Smolders, A., de Faria Vasconcelos, K., Willems, H., & Jacobs, R. (2022). Convolutional neural network for automatic maxillary sinus segmentation on cone-beam computed tomographic images. *Scientific Reports*, 12(1), 7523. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11483-3>

Nguyen, T. T., Larrivée, N., Lee, A., Bilaniuk, O., & Durand, R. (2021). Use of artificial intelligence in dentistry: Current clinical trends and research advances. *Journal of the Canadian Dental Association*, 87, 17. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34343070/>

Ossowska, A., Kusiak, A., & Świetlik, D. (2022). Artificial intelligence in dentistry—a narrative review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(6), 3449. <https://doi.org/10.3390/ijerph19063449>

- Orhan, K., Belgin, C. A., Manulis, D., Golitsyna, M., Bayrak, S., Aksoy, S., Sanders, A., Önder, M., Ezhov, M., Shamshiev, M., & Gusarev, M. (2023). Determining the reliability of diagnosis and treatment using artificial intelligence software with panoramic radiographs. *Imaging Science in Dentistry*, 53(2), 199-207. <https://doi.org/10.5624/isd.20230109>
- Putra, R. H., Doi, C., Yoda, N., Astuti, E. R., & Sasaki, K. (2022). Current applications and development of artificial intelligence for digital dental radiography. *Dentomaxillofacial Radiology*, 51(20210197), 1-12. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20210197>
- Rodrigues, J. A., Krois, J., & Schwendicke, F. (2021). Demystifying artificial intelligence and deep learning in dentistry. *Brazilian Oral Research*, 35, e094. <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2021.vol35.0094>
- Schulze, D., Häußermann, L., Ripper, J., & Sottong, T. (2024). Comparison between observer-based and AI-based reading of CBCT datasets: An interrater-reliability study. *The Saudi Dental Journal*, 36(4), 291–295. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2023.11.001>
- Singh, S. P., Wang, L., Gupta, S., Goli, H., Padmanabhan, P., & Gulyás, B. (2020). 3D deep learning on medical images: A review. *Sensors*, 20(18), 5097. <https://doi.org/10.3390/s20185097>
- Surlari, Z., Budală, D. G., Lupu, C. I., Stelea, C. G., Butnaru, O. M., & Luchian, I. (2023). Current progress and challenges of using artificial intelligence in clinical dentistry—a narrative review. *Journal of Clinical Medicine*, 12(23), 7378. <https://doi.org/10.3390/jcm12237378>
- Thurzo, A., Strunga, M., Urban, R., Surovková, J., & Afrashtehfar, K. I. (2023). Impact of Artificial Intelligence on Dental Education: A Review and Guide for Curriculum Update. *Education Sciences*, 13(2), 150. <https://doi.org/10.3390/educsci13020150>
- Zadrożny, Ł., Regulski, P., Brus-Sawczuk, K., Czajkowska, M., Parkanyi, L., Ganz, S., & Mijiritsky, E. (2022). Artificial intelligence application in assessment of panoramic radiographs. *Diagnostics*, 12(1), 224. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12010224>

Inteligência artificial para a análise automática de imagens CBCT e TC. Aplicações no planeamento de enxertos ósseos. Estudo comparativo de um caso clínico

ANEXOS

Anexo A. Consentimento informado

[Cabinet Dentaire Dr.Graziani]

Gabinete Dentário do Dr. Jean Noel Graziani
28 bis Cours PAOLI
20250 Corte
04 95 61 08 43
jean-noel.graziani@wanadoo.fr

Data: 27/06/2024

Objeto: Autorização de utilização dos dados e imagens da paciente Marie Piferini, com o seu consentimento, para a elaboração de uma tese de doutoramento.

À atenção de :
Marie Piferini
20231 Venaco (Córsega,

França) Cara Senhora

Piferini,

Escrevemos para solicitar formalmente a sua autorização para utilizar os seus dados médicos e imagens de raios X no âmbito da elaboração de uma tese de doutoramento pelo estudante Jayson Rivet, autorizado pelo nosso consultório dentário.

Ao assinar esta carta, aceita que o consultório dentário do Dr. Jean Noel Graziani e do estudante Jayson Rivet possa :

1. Utilizar os seus dados médicos, incluindo informações sobre o seu tratamento, para redigir a tese dentária.
2. Utilizar as imagens radiográficas tiradas antes, durante e após o tratamento para ilustrar a tese, garantindo o anonimato e a confidencialidade dos seus dados pessoais.

Gostaríamos de lhe garantir que todas as informações serão tratadas com a máxima confidencialidade e que apenas as pessoas autorizadas terão acesso aos seus dados. Além disso, nenhuma informação pessoal identificável será partilhada sem o seu consentimento explícito.

Se concorda com os termos da presente autorização, queira assinar e datar a presente carta no espaço abaixo indicado.

Obrigado pela vossa confiança e colaboração. Com os melhores cumprimentos

Dr. Jean Noel Graziani
Assinatura:

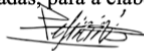


Consultório dentário Dr. Jean
Noel Graziani

Acordo com o doente

Eu, abaixo assinada, Marie Piferini, autorizo o Cabinet Dentaire do Dr. Jean Noel Graziani e o estudante Jayson Rivet a utilizar os meus dados médicos e as minhas imagens radiográficas, de acordo com as condições acima indicadas, para a elaboração da tese de doutoramento.

Assinatura : _____
Data : _____ 27/06/2024 _____



Inteligência artificial para a análise automática de imagens CBCT e TC. Aplicações no planeamento de enxertos ósseos. Estudo comparativo de um caso clínico

Anexo B. Parecer Comissão de Ética



UNIVERSIDADE FERNANDO PESSOA

Exma. Senhora
Prof. Doutora Sandra Gavinha
Diretora da FCS

Nº	Data
FCS/MMED - 596/24-2	11 de Julho de 2024

Exma. Senhora Professora Doutora,

A Comissão de Ética analisou a ressubmissão do projeto apresentado por Jayson Rivet, intitulado "Inteligência Artificial para a análise automática de imagens de CBCT/TC. Aplicações no planeamento de enxertos ósseos. Estudo comparativo de um caso clínico", a realizar no âmbito do Mestrado Integrado em Medicina Dentária.


O objetivo do estudo é realçar a utilização de uma Inteligência Artificial em imagens existentes para comparar a programação e o resultado de um enxerto ósseo por um dentista (rapidez, precisão, escolha do material).

Todos os esclarecimentos solicitados foram entregues.

Deste modo, a Comissão de Ética considera nada haver a opor quanto à realização deste projeto.

Com os melhores cumprimentos,

A Presidente da
Comissão de Ética da UFP


Inês Lopes Cardoso



FUNDAÇÃO ENSINO E CULTURA "FERNANDO PESSOA"

NIPC: 502 057 802 • Reg. Comercial nº 26 Conservatória do Registo Comercial do Porto

FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS
Praça 9 de Abril, 349 • 4249-004 Porto • Portugal
T. +351 22 507 1300 • <https://www.ufp.pt>
geral@fundacaofernandopessoa.pt

FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
Rua Carlos da Maia, 296 • 4200-150 Porto • Portugal
T. +351 22 507 4630 • <https://www.ufp.pt>
geral@fundacaofernandopessoa.pt

FACULDADE DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
Praça 9 de Abril, 349 • 4249-004 Porto • Portugal
T. +351 22 507 1300 • <https://www.ufp.pt>
geral@fundacaofernandopessoa.pt

* (chamada para a rede fixa nacional)

Autoriza-se


10.7.24