



UNIVERSIDADE
FERNANDO
PESSOA

CIRURGIA DENTÁRIA: O IMPACTO DAS NOVAS TECNOLOGIAS NA PRÁTICA CLÍNICA – REVISÃO DE ESCOPO

[Dental surgery: the impact of the new technology in the practical clinic - scoping
review]

Dissertação de Mestrado

[Mestrado integrado de Medicina Dentária]

Zélie FELIPO

Orientador:

Professor Jorge Pires Maciel Barbosa

Junho 2025

Cirurgia dentária: o impacto das novas tecnologias na prática clínica –
revisão de escopo

[Dental surgery: the impact of the new technology in the practical clinic - scoping
review]

Dissertação de Mestrado

[Mestrado integrado de Medicina Dentária]

Zélie FELIPO

Orientador:

Professor Jorge Pires Maciel Barbosa

Junho 2025

DEDICATÓRIA

Je tiens à dédicacer ce travail tout d'abord à mes parents. Maman, papa, je doute que les mots seront assez forts pour vous exprimer ma gratitude. C'est grâce à vous que j'ai pu arriver ici. C'est la preuve du chemin que j'ai parcouru avec la force que vous m'avez donnée.

Biscotte, tu es importante dans ma vie. Je n'ai pas assez profité quand tu étais près de moi et maintenant que tu es loin, je me rends compte de ton importance dans ma vie.

Je tiens aussi à dédicacer mon travail à tous ceux qui m'ont accompagnée depuis le début, qui sont arrivés en cours de route et ceux qui sont partis entre temps. Ça n'a pas toujours été facile, mais c'est normal, rien n'est facile.

Arriver à terminer un chapitre, c'est à ce moment-là qu'on est fière de ne pas avoir abandonné. Merci à vous.

À tous ceux qui doutent d'eux, qui ne sont jamais sûrs et dont la peur peut empêcher d'avancer, je la dédicace à vous. Prenons notre temps et soyons gentils avec nous-mêmes, on oublie souvent d'y penser.

Et enfin, moi-même, bravo. Tu peux être fière de toi, fière du chemin accompli. J'espère que quand tu prendras le temps de contempler ce bout de chemin, avec un œil de reconnaissante, de fierté et de joie.

AGRADECIMENTOS

On y est. Quelle aventure, quel chemin. À aucun moment, sept ou six ans en arrière, je ne me serais vu arrivée à ce moment-là. Pendant ce temps qui m'a paru à la fois cours et long, la vie a changé, et donc par la même extension moi aussi. J'ai grandi, appris, pleurée, criée, mais je n'ai pas abandonné. Et, je pense que ça a été l'une des épreuves les plus dures, mais aussi une récompense immense. Et rien que pour ça, je tiens à me féliciter et à me remercier. C'est d'abord pour moi que je fais ça. Personne d'autre ne peut le faire à ma place et personne ne peut avoir la même priorité dans ma vie que moi-même. Merci.

Papa, maman, merci d'être là pour moi. Je suis fière de dire que je suis votre fille. J'ai grandi dans votre amour et il m'aide à me développer chaque jour. Merci à vous d'être mes parents. Jamais je ne vous demanderai de changer, d'être différent ou parfait. Vous êtes mes seuls et uniques parents : ça semble idiot à dire, et pourtant, c'est la vérité. Vous êtes unique, et pour ça, je vous remercie du plus profond de moi.

Tonton, tata, merci de m'avoir permis de m'évader et de croire en moi. Vous m'avez toujours poussée, soutenue et aimée. Vous formez mon autre maison et je sais que j'aurai toujours ma place. Je vous garde toujours près de moi. An aimé zot on pil. Nou ja sav tou't é zot ka fè mwen senti ké an té capab. Merci.

Ma meilleure amie. Tu as toujours été à mes côtés, mais je te veux encore plus présente. Tout ce temps passé loin l'une de l'autre m'a fait prendre conscience de la chance que j'ai. Tu m'as toujours soutenue dans toutes mes décisions, merci de me permettre d'être moi-même et de me donner toujours l'oxygène dont j'ai besoin.

À tous mes autres, très chers amis, dou, merci à toi. Tu m'as accompagnée depuis le début et tu as toujours fait en sorte de m'encourager. Merci d'avoir été là et d'avoir partagé ce chemin avec moi. J'ai hâte de la suite.

À tous ceux qui sont chez nous, dans notre île et qui m'ont apporté la sérénité de notre île. À chaque retour à la maison, j'étais chargée en énergie. Vous m'avez apporté le calme et le

temps de respirer. Grâce à vous, j'ai pu lever la tête et m'apercevoir de la chance que j'ai.

À ceux que j'ai rencontrés ici, mes fleurs, vous avez été géniaux. Vos lumières m'ont permis souvent d'avancer. En partageant ce chemin, vous avez été les plus aptes à comprendre et à me permettre de ne pas lâcher prise. Merci d'avoir été là dans les bons, mais aussi dans les mauvais moments. Je suis fière de vous avoir.

Et enfin, à toutes ces rencontres éphémères, ces moments inopinés, inattendus. On dit souvent qu'un inconnu venu à un certain moment dans notre vie peut avoir un impact alors que rien d'extraordinaire ne s'est produit. Ça m'est arrivée plus d'une fois. Je ne pense pas avoir eu la chance de vous le dire, mais merci à vous d'avoir croisé ma route à un moment où j'en avais besoin.

RESUMO

Introdução: O século XIX é o século do início das grandes inovações tecnológicas. No campo médico, a medicina dentária vê mudanças exponenciais com essa revolução. Na cirurgia dentária, um ato clínico pode atualmente ser facilitado por ferramentas como: IA, assistência robotizada, proporcionando precisão e risco de erro reduzido. Também os enxertos ósseos vêm a chegada de materiais inovadores que permitem um acompanhamento pós-operatório. A revolução tecnológica não se aplica apenas durante as cirurgias, mas também no pré e pós-operatório. A tecnologia pode nos ajudar a otimizar os tratamentos com objetivo de dar mais precisão, fiabilidade e reduz o risco de erro.

Objetivos: Este estudo de escopo foi realizado com o intuito de colmatar as lacunas existentes na literatura e responder aos seguintes objetivos: Qual é o impacto da introdução da tecnologia, na prática da cirurgia dentária? Como tem evoluído a cirurgia dentária com base nas ferramentas tecnológicas?

Metodologia: O protocolo de investigação foi realizado com base no PRISMA-ScR 2020 usando os palavras-chaves (dental surgery) OR (technology in Dentistry) OR (technology in surgical dentistry) AND (new biomaterials) AND (technology in GBR) AND (robotic guidance) AND (new printing/scanners) AND (IA in surgical planification) AND (implant planning) AND (augmented reality in dental surgery) AND (robotic guidance) AND (navigation surgery) em bases de dados: PubMed e ScienceDirect.

Resultados: Constatamos que o uso da tecnologia pode ser uma grande ajuda na cirurgia dentária graças à possibilidade de dar mais precisão, mais confiabilidade e menos trauma. No entanto, a ausência de pesquisas resulta em restrições ou limitações tecnológicas que afetam inúmeros procedimentos cirúrgicos.

Conclusion: Technology is a great tool that allows use to work with more precision and more confidence

Palavras-chaves: cirurgia dentaria; tecnologia; diagnostico; plano de tratamento; precisão

ABSTRACT

Introduction: The nineteenth century is the beginning of the great technological innovations. In the medical field, dentistry sees exponential changes with this revolution. In dental surgery, a clinical act can currently be facilitated by tools such as: AI, robotic assistance, providing accuracy and reduced risk of error. Bone grafts also see the arrival of innovative materials that allow a postoperative follow-up. The technological revolution does not only apply during surgeries, but also in pre and postoperative. Technology can help us optimize treatments to give more accuracy, reliability and reduce the risk of error.

Objectives: This scope study was carried out in order to fill the gaps in the literature and respond to the following objectives: What is the impact of the introduction of technology in the practice of dental surgery? How has dental surgery evolved based on technological tools?

Metodologia: The research protocol was carried out based on PRISMA-ScR 2020 using the keywords (dental surgery) OR (technology in Dentistry) OR (tecnhology in surgical dentistry) AND (new biomaterials) AND (technology in GBR) AND (robotic guidance) AND (new priting/scanners) AND (IA in surgical planification) AND (implant planning) AND (augmented reality in dental surgery) AND (robotic guidance) AND (navigation surgery) in databases: PubMed and ScienceDirect.

Results: We have found that the use of technology can be a great aid in dental surgery thanks to the possibility of giving more precision, more reliability and less trauma. However, the absence of research has resulted in technological constraints or limitations that affect numerous surgical procedures.

Conclusion: Technology is a great tool that allows use to work with more precision and more confidence

Keywords:dental surgery; technology; diagnosis; treatment plan; precision

ÍNDICE GERAL

I. Introdução.....	1
II. Metodologia.....	2
III. Resultados.....	8
IV. Analise dos resultados.....	10
Parte I: ferramentas e sistema tecnológico	10
1. Famílias tecnológicas	10
1.1. Sistemas robotizado	10
1.2. Scanners (CBCT)	12
1.3. Flux numerico	13
1.4. CAIS (-s,-d,-r)	13
1.5. Inteligencia Artificial.....	14
1.6. Realidade aumentada (RA)/ Realidade virtual (RV)	14
Parte II: Etapas cirúrgicas	15
1. Pré-operatório: transformação da cirurgia.....	15
1.1. Desde a anamnese, o diagnóstico e o plano de tratamento	15
1.2. Ajuda no planeamento cirúrgico	16
2. Peri-operatório: maior precisão, menor risco de erro	17
2.1. Utilização da tecnologia	17
2.1.1. Durante a intervenção	17
2.1.2. Novo substituto ósseo	19
2.2. Comparação da tecnologia com métodos convencionais	20
2.2.1. CAIS contra os métodos convencionais	20
2.2.2. CAIS+IA contra o « freehand »	20
2.2.3. RA contra o convencional	21
2.3. Comparação da tecnologia entre si	22
2.3.1. CAIS dinâmico vs estático	22
2.3.2. RA contra CAIS	22
2.3.3. A combinação dos CAIS	23
3. O post-operatorio	25

IV. Discussão	26
V. Conclusão.....	28
VI. Referencias Bibliográficas	29

ÍNDICE TABELAS

1.	Tabela 1: Apresentação dos artigos selecionados.....	4
2.	Tabela 2: Apresentação dos dados de fontes.....	9

ÍNDICE FIGURAS

1.	Figura 1: Seleção dos dados	3
2.	Figura 2: Fluxogrammo.....	8

LISTAS DE ABREVIATURAS, SIGLAS, SÍMBOLOS OU ACRÓNIMOS

TC- tomografia conventional

3D - três dimensões

I.e - ou seja

CAIS - *computer assisted implant system*

RA- realidade aumenta

RV- realidade virtual

CBCT- *Cone beam computed tomography*

CAD/CAM- *computer-aided design/ computer-aided manufacturing*

I. INTRODUÇÃO

Antes da introdução da tecnologia na área da medicina dentária, o século XIX testemunhou a primeira revolução que estabeleceu os fundamentos para a profissão de dentista e da cirurgia dentária hoje em dia. Nesta época, a anestesia, a assépsia e os progressos científicos possibilitaram a utilização do microscópio para a análise de germes e tecidos.

A entrada no século XXI é marcada por uma nova revolução: a tecnológica. A tecnologia 3D, digitalização, novos tipos de scanners e, mais recentemente, a inteligência artificial (IA) e a assistência robotizada têm sido frequentemente associadas a uma maior precisão, fiabilidade adicional, otimização do tempo operatório e redução do risco durante os procedimentos cirúrgicos. Essa utilização da tecnologia não é somente durante a cirurgia, sendo também utilizada nas fases pré e pós-operatória.

No entanto, o seu uso e adaptação ainda são recentes na odontologia, e o processo de aprendizagem contínua está em andamento. Embora haja conhecimento disponível neste campo, surge a pergunta: como a cirurgia dentária poderá desenvolver-se no futuro com o auxílio da tecnologia?

Este estudo de escopo é caracterizado por uma variedade de artigos (scoping review, estudos in vitro, casos clínicos) que relatam a aplicação de diferentes ferramentas tecnológicas (IA, realidade aumentada/realidade virtual, sistemas CAIS e assistência robotizada). Dessa forma, o estudo demonstra os resultados encontrados na literatura sobre este tema, bem como as lacunas identificadas.

1. Objectivos

O objetivo deste estudo de escopo é demonstrar a evolução da prática cirúrgica dentária com a introdução da tecnologia:

— “Como se transforma a cirurgia dentária quando assistida por tecnologia?”

— “De que forma a abordagem clínica, o tratamento do paciente e o acompanhamento pós-operatório evoluem com o apoio das ferramentas tecnológicas?”

II. METODOLOGIA

O protocolo de investigação foi realizado com base no PRISMA-ScR 2020, seguindo as etapas descritas em <https://www.prisma-statement.org/scoping>.

A revisão de escopo (scoping review) foi escolhida por permitir uma síntese abrangente dos artigos que abordam a questão em estudo. Este tipo de revisão permite a elaboração de um mapeamento da literatura existente, permitindo identificar os conceitos-chave, as teorias relevantes e as lacunas existentes em relação ao tema em questão.

1. Critérios de elegibilidade

Os critérios para responder aos objetivos foram os seguintes:

- A utilização de novas tecnologias na cirurgia dentária, ou seja, a adaptação de atos cirúrgicos com o auxílio dessas tecnologias, bem como a sua aplicação no diagnóstico, tratamento e acompanhamento pós-operatório dos pacientes.
- Artigos redigidos em francês, inglês ou português.
- Estudos publicados entre 2010 e 2025 inclusive.
- Tipos de estudos incluídos: revisões de escopo (scoping reviews), revisões sistemáticas, meta-análises, estudos in vitro, revisões narrativas e, no caso da literatura cinzenta, publicações em revistas dentárias e outros documentos científicos relevantes.

Estes critérios foram estabelecidos para abranger uma grande variedade de fontes, permitindo analisar os diferentes aspetos da aplicação da tecnologia, bem como as suas limitações, sem, contudo, prejudicar a clareza da análise com o excesso de dados.

Todos os dados que não cumpriam estes critérios foram excluídos.

2. A fonte de dados

As bases de dados escolhidas foram baseadas na frequência de utilização e relevância científica: PubMed, Scopus, Google Scholar e ScienceDirect, com uma limitação temporal de 15 anos. Relativamente à literatura cinzenta, foram consultadas fontes como jornais científicos, livros, sítios na 'internet' e relatórios/redações, com uma limitação temporal de 10 anos.

As palavras-chave utilizadas foram definidas para incluir os **participantes** (ou seja, estudos realizados em humanos ou em modelos fantoma), o **conceito** (uso da tecnologia em cirurgia) e o **contexto** (cirurgia dentária). A estratégia de pesquisa incluiu os seguintes termos: (“dental surgery” OR “technology in dentistry” OR “technology in surgical dentistry”) AND (“new biomaterials”) AND (“technology in GBR”) AND (“robotic guidance”) AND (“new printing/scanners”) AND (“AI in surgical planning”) AND (“implant planning”) AND (“augmented reality in dental surgery”) AND (“robotic guidance”) AND (“navigation surgery”).

3. O processo de seleção de documentos

Figura 1

Seleção dos dados

dental surgery [title], technol...	Google Scho...	103	1844	122,93	23	42	12	0,80	13	17	21/02/2025	21/0
technology dental surgery [tit...	PubMed	1	0	0,00	0	0	0	0,00	0	0	17/02/2025	17/0

Google Scholar search		Years: 2010 - 2025	Search ?
Authors:	Author names	ISSN:	Search Direct
Publication name:	Words in the journal title		Clear All
Title words:	dental surgery		Revert
Keywords:	technology in dentistry, technology in dental surgery, robotic guidance		New
Maximum number of results:	200	Include: ☒ CITATION records ☒ Patents ☐ Only reviews	

Diversas bases de dados foram usadas para a pesquisa de artigos científicos.

Aqui está um exemplo de seleções de artigos científicos: uma aplicação « Publish or Perish » foi utilizada para a condensação e organização dos resultados alcançados. A base de dados apresentada neste contexto é o Google Scholar, utilizando como título “Dental surgery” e os seguintes termos-chave: “technology in dentistry”, “technology in dental surgery”, “robotic guidance”, com um limite máximo de 200 artigos. Foi aplicado um filtro temporal correspondente ao período de 2010 a 2025.

Tabela 1

Apresentação dos artigos selecionados

Autores	Nomes	Assunto	Data
Spyridon N. Papageorgiou et al.	Comparative effectiveness of natural and synthetic bone grafts in oral and maxillofacial surgery prior to insertion of dental implants	Comparação da eficácia entre enxertos ósseos naturais e sintéticos.	2016
Baoxin Tao et al.	Accuracy of dental implant surgery using dynamic navigation and robotic systems: An in vitro study.	Precisão de colocação de implantes por cirurgia guiada.	2022
Serge Dibart et al.	Robot assisted implant surgery: Hype or hope?	Cirurgia de implante guiado por robô.	2023
Dhanushka Leuke Bandara et al.	Quality of life of patients treated with robotic surgery in the oral and maxillofacial region: a scoping review of empirical evidence	Qualidade de vida dos pacientes pós-operados que receberam cirurgia robótica oral/ maxilofacial.	2024
Seong-Hun Kim et al.	New Frontier in Advanced Dentistry: CBCT, Intraoral Scanner, Sensors, and Artificial Intelligence in Dentistry	Aborda o uso de IA, scanner para suporte diagnóstico e tratamento odontológico.	2022
Arwa A. Alsayed et al.	Assessing the quality of AI information from ChatGPT regarding oral surgery, preventive dentistry, and oral cancer: An exploration study	É um estudo de avaliação da exatidão, relevância e clareza das informações suportadas pelo ChatGPT.	2024
Satnam Singh Jolly et al.	Artificial intelligence in dentistry — A scoping review	Exploração da IA no diagnóstico e tratamento.	2024
Bahaaeldeen M. Elgarba et al.	Artificial intelligence serving pre-surgical digital implant planning: A scoping review	Planejamento de uma cirurgia de implante usando IA.	2024
Dr Stefanie Lindner et Dr Andreas Kefler	3D-printed surgical guides to facilitate internal sinus lift	Revista odontológica sobre a formação guiado de um guia cirúrgico 3D.	2024
Federica Di Spirito et al.	Customized 3D-Printed Mesh, Membrane, Bone Substitute, and Dental Implant Applied to Guided Bone Regeneration in Oral Implantology: A Narrative Review	Impressão 3D personalizada para colocação de implantes, permitindo um melhor planejamento pré-operatório e maior estabilidade, menos complicações.	2024
Márton Kivovics et al.	Accuracy of dental implant placement using augmented reality-based navigation, static computer assisted implant surgery, and the free-hand method: An in vitro study	Estudo comparativo de colocação de implantes em 3 grupos: posicionamento dinâmico em RA, estático CAIS e free-hand.	2022
Hang-Nga Mai et al.	Accuracy of Augmented Reality-Assisted Navigation in Dental Implant Surgery: Systematic Review and Meta-analysis	Comparação da eficácia entre a colocação de implantes em RA versus o método convencional.	2023
Ashraf Ayoub and Yeshwanth Pulijala	The application of virtual reality and augmented reality in Oral & Maxillofacial Surgery	A aplicação de RA e RV na cirurgia de implante.	2019
J. Wang et al.	Recent Advances in Digital Technology in Implant Dentistry.	A utilização da IA no diagnóstico e prognóstico, bem como a ajuda através da criação do paciente virtual.	2024
Yu Wu et al.	Accuracy of an autonomous dental implant robotic system versus static guide-assisted implant surgery: A retrospective clinical study	Colocação de implantes por um robô autônomo: avaliação da precisão e comparação com outros sistemas tecnológicos	2025
Ping Li et al.	Trephination-based autonomous robotic surgery for dental implant placement A proof of concept	Novo método de cirurgia de implante com robô autônomo.	2024
Imam Safari Azhar et al.	Application of Artificial Intelligence (AI) on improving accuracy of dental implant placement using Computer-Assisted Implant Surgery (CAIS)	Comparação de tecnologia entre si para a colocação de implantes.	2023
Iveta Ramonaite	DT News - France - Plus de 10 000 implants dentaires posés à l'aide du robot Yomi	Revista sobre a colocação de implantes realizada pelo robô Yomi.	2025
MiaoZhen Wang et al.	Robot-assisted surgery for dental implant placement: A narrative review	Avaliação da colocação de implantes por cirurgia robótica	2024
Andrew Medical	Copying nature with 3D-printed dental implants	Revista sobre uma empresa que produz implantes 3D de titânio reproduzindo a forma da raiz que imita o osso natural	2024

4. Seleção de fontes de evidência

No que diz respeito à literatura cinzenta, esta foi selecionada mediante pesquisas na 'internet', recorrendo a palavras-chave como: “robô dentário Yomi”, “jornal dentário”, “Dental Tribune”, “avanços tecnológicos na cirurgia dentária”. A seleção dos jornais foi orientada por uma limitação temporal de 2015 a 2025.

Numa primeira fase, a seleção dos artigos foi realizada através da plataforma Rayyan, com base na leitura dos títulos e dos resumos. Simultaneamente, foram eliminados os duplicados.

Numa segunda fase, procedeu-se à leitura integral dos artigos, aplicando os critérios de elegibilidade, nomeadamente a língua, o período de publicação e a relevância relativamente ao tema do estudo.

Os artigos que não apresentavam nenhuma relação com a cirurgia dentária ou com o auxílio ao diagnóstico e planeamento do tratamento dos pacientes foram excluídos da análise.

5. Data item

A seleção das informações presentes nos artigos obedeceu a critérios específicos, tais como: a idade dos participantes, o tipo de intervenção, a natureza dos resultados (concludentes ou não), os fatores contextuais (tipo de tecnologia utilizada, comparação entre tecnologias ou entre métodos manuais e tecnológicos), bem como as limitações dos estudos.

Por exemplo, a idade dos participantes considerada nas análises foi a de adultos, uma vez que se tratava de indivíduos aptos a receber implantes dentários ou a submeter-se a intervenções cirúrgicas de maior complexidade.

As informações recolhidas nos artigos visam responder à seguinte questão: «Qual o progresso de um procedimento cirúrgico dentário quando este é apoiado pela tecnologia? »

Assim, os artigos incluídos devem evidenciar a transição para a era digital e tecnológica, bem como a transformação na abordagem dos atos cirúrgicos. A identificação de novas ferramentas, como a inteligência artificial (IA), a robotização e a realidade aumentada, aplicadas em procedimentos como a colocação de implantes, a cirurgia maxilofacial ou outras intervenções, foi um critério essencial.

Nos resultados, é relevante a presença de evidência concludente, mas também de dados que demonstrem que a tecnologia pode não ser adequada em determinados casos.

Foi igualmente considerado pertinente comparar a atuação do profissional de saúde com a tecnologia, bem como comparar diferentes tecnologias entre si, aplicadas ao mesmo tipo de procedimento, visando identificar as respectivas limitações.

Essas limitações podem decorrer de falta de dados, de amostras reduzidas ou de ausência de acompanhamento longitudinal.

Todos esses fatores foram tidos em conta na presente revisão de escopo, de modo a compor o corpo final de publicações a analisar.

6. Resumo dos resultados

Uma vez selecionados os 20 artigos, estes deveriam responder às seguintes questões:

- Como se transforma a cirurgia dentária quando é assistida por tecnologia?
- Como evolui o tratamento de um paciente, desde o diagnóstico até ao acompanhamento pós-operatório, com o apoio da tecnologia?

A pertinência dos artigos foi registada numa grelha de análise, onde foram anotados os temas principais abordados em cada estudo: cirurgia dentária, colocação de implantes, inteligência artificial (IA), precisão cirúrgica, sistemas CAIS, diagnóstico e tratamento, seguimento pós-operatório.

Em seguida, foram identificados os pontos fortes dos artigos, tais como:

- Planeamento cirúrgico,
- Paciente virtual,
- Comparação entre sistemas CAIS estáticos e dinâmicos,
- Precisão cirúrgica,
- Comparação entre ferramentas tecnológicas e métodos convencionais.

As limitações foram igualmente consideradas, nomeadamente:

- Falta de dados suficientes,
- Amostras reduzidas ou ausência de participação alargada,
- Falta de seguimento a longo prazo.

A partir desses elementos, as fontes foram categorizadas de acordo com a tendência observada.

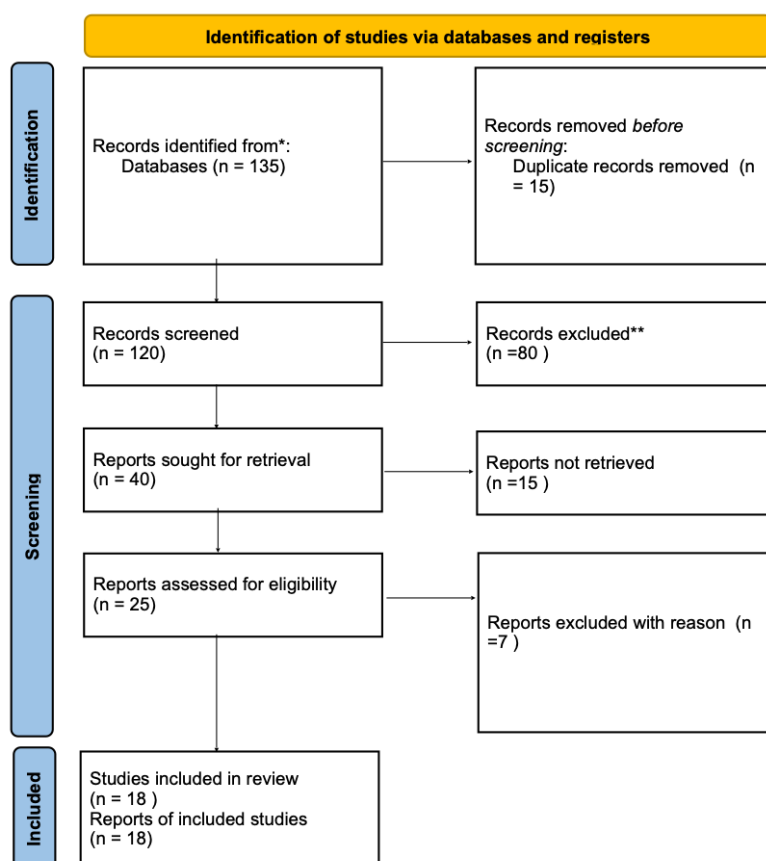
A partir daí, foi possível elaborar um resumo e uma visão global de cada fonte analisada.

III. Resultados

Figura 2

Fluxogramma

PRISMA 2020 flow diagram for new systematic reviews which included searches of databases and registers only



*Consider, if feasible to do so, reporting the number of records identified from each database or register searched (rather than the total number across all databases/registers).

**If automation tools were used, indicate how many records were excluded by a human and how many were excluded by automation tools.

Source: Page MJ, et al. BMJ 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71.

This work is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Tabela 2

Apresentação dos dados de fontes

Fonte	Temas principais	Observação chave	Limitações
1	Enxerto ósseo, cirurgia oral, implantes dentários	Apresentação dos efeitos histomorfométricos dos enxertos ósseos (elevação do seio maxilar, preservação do alvéolo, aumento da crista óssea) antes da colocação de implantes dentários em humanos.	limitado pela heterogeneidade dos protocolos, pelo número relativamente reduzido de estudos.
2	Implantes dentários, tecnologia, IA, precisão, cirurgia guiada	Comparação da colocação do implante do sistema de exploração dinâmica contra um sistema robótico	Para ter uma automação da IA será necessário desenvolver a prosa de decisão independente. Problemas éticos. Falta potência cálculos
3	Robótica, orientação cirúrgica dinâmica, implantes, precisão de posicionamento estática VS orientação dinâmica	Planejamento digital, cirurgia assistida por robô. Uso guia dinâmica para navegação e robótica. Abordagem do robô Yomi	Diminuição da sensação tátil, precisa de muitos recursos. O tempo de recuperação é mais longo do que com um guia estático
4	Cirurgia robótica, qualidade de vida dos pacientes pós-operatórios, cirurgia na região maxilofacial	Qualidade de vida dos pacientes pós-operados que foram submetidos a cirurgia robótica na região maxilofacial. Há uma melhor qualidade na deglutição, fala	Tamanho da amostra relativamente pequeno. Sem grupo de controle. Sem rastreamento a longo prazo
5	IA, scanner e CBCT	Tecnologia que revoluciona o tratamento e diagnóstico. Aplicações para análises anatômicas, planejamento cirúrgico. Permite a estimulação do tratamento para visualização antes da intervenção	Dose de radiação
6	Qualidade das informações recebidas, IA, cirurgia oral	Avaliação da qualidade das informações recebidas pelo ChatGPT. Avaliação sobre: exatidão, relevância, clareza.	Precisamos de uma avaliação diária
7	IA, diagnóstico e tratamento	Diagnóstico: ajuda no reconhecimento de detalhes, detecção de cáries/patologias, colocação de implantes. Tratamento: recomendação personalizada, melhoria de manchas	
8	IA e planejamento sobre colocação de implantes	IA no planejamento e colocação de implantes. Criação de paciente virtual e colocação virtual de implantes. Maior precisão e eficiência de tempo	Falta de pesquisa. Falta na dependência dos passos automáticos
9	Guia cirúrgico 3D virtual para a clínica. Sinus lift, planejamento digital	Guia 3D: permite a transferência do implante, melhora pré-operatória com paciente, menos risco cirúrgico e melhor previsibilidade	
10	Cirurgia assistida por computador, impressão 3D personalizada, materiais biocompatíveis	Adaptação de precisão. Diminuição do tempo cirúrgico. Menos complicações e contaminação. Personalização do dispositivo	Custo. fluxo de trabalho digital. fragilidade. falta de protocolos padronizados
11	RA+ CAIS+ Manual, comparação de métodos, cirurgia de implante assistida	Comparação de 3 métodos em 3 variáveis: desvio angular, desvio global coronal, desvio global apical. Precisão da posição de colocação	In vitro. Um único sistema de implante utilizado. Número de implantes
12	RV e RA, cirurgia de implante	Aplicação de RV e RA no diagnóstico e planejamento cirúrgico. Visualização 3D realista. Planejamento cirúrgico preciso	Um único sistema de implante utilizado. Número limitado de implantes
13	RA, navegação cirúrgica, implantes	Precisão de colocação de implantes com RA. Comparação da colocação em RA versus método convencional	Números baixos. Poucos estudos da aplicação clínica
14	IA, cirurgia assistida por computador, implante, fluxo de trabalho digital	IA: ajuda ao diagnóstico e prognóstico. Paciente virtual. CAIS combinado. Comparação CAIS versus método manual	Desvio
15	Robótica autônoma, implantes, precisão.	Precision ADIRS. Comparação de desvio de colocação em 3 critérios. Comparação com outros sistemas	Falta de estudos aprofundados
16	Implantes, enxerto, cirurgia robótica	Novo método de cirurgia de implantes com robô autônomo para trephination. Transplante autólogo e colocação simultânea de implantes	
17	Implantes, IA, CAIS, comparação e precisão	Comparação: IA+CAIS contra Freehand, CAIS estático contra dinâmico, navegação em AR	Falta de estudos. Desvio. Complexo. Custo
18	Implantes, Yomi, robótica	Robô Yomi na colocação de implantes. Melhoria dos cuidados com os pacientes	
19	Cirurgia robótica, colocação de implantes, CAIS	Avaliação da precisão com o sistema CAIS. Comparação: CAIS contra Freehand, CAIS estático contra dinâmico	
20	Implantes, impressão 3D de titânio, imitação de forma, crescimento ósseo	Impressão de implantes 3D em material de titânio. Imitação do osso pela sua forma radicular. Estimulação do crescimento e regeneração.	

IV. Análise dos resultados

Parte I: ferramentas e sistema tecnológico

Quando se fala em “tecnologia robótica”, refere-se a uma tecnologia utilizada em cirurgia maxilofacial e/ou oral, aplicada em procedimentos minimamente invasivos, permitindo a navegação entre estruturas anatómicas, enquanto se preserva a integridade dos tecidos.

O interesse na sua aplicação clínica está em constante crescimento (MiaoZhen Wang et al., 2024).

Atualmente, existem diferentes modelos disponíveis no mercado, desde pequenos instrumentos articulados em braços robóticos até sistemas totalmente autónomos. Estas ferramentas oferecem uma visão tridimensional (3D) que melhora significativamente a precisão, a destreza e a coordenação durante os procedimentos cirúrgicos (Dhanushka Leuke Bandara et al., 2024).

1. Famílias tecnológicas

1.1. Sistemas robotizado

A. Da Vinci

O sistema robótico “Da Vinci”, também conhecido como “robô Vinci”, apresenta diversas vantagens:

- A sua visão 3D em alta definição permite uma incisão extremamente precisa.
- A flexibilidade e rotação dos instrumentos são tais que os movimentos realizados não poderiam ser executados por mãos humanas, o que resulta numa precisão cirúrgica notável.
- As abordagens realizadas com este sistema tendem a ser mais reprodutíveis do que os métodos cirúrgicos convencionais.

O sistema Da Vinci é utilizado, nesta investigação, na realização de TORS (cirurgia trans oral roboticamente assistida) na região maxilofacial e oral (Dhanushka Leuke Bandara et al., 2024).

O segundo tipo de robôs presente em consultórios dentários são os especializados na colocação de implantes dentários. São semelhantes aos primeiros em termos de forma, com algumas diferenças específicas. Todos partilham três componentes fundamentais:

- Um braço robótico, que representa a mão do operador
- Um sistema de controlo visual, que corresponde aos “olhos”

– Um sistema central (semelhante a um computador), onde podem ser introduzidos todos os dados necessários (como CBCT, profundidade de perfuração, ângulo de inserção, etc.) ou seja, o “cérebro” do sistema. (MiaoZhen Wang et al., 2024).

Os dois modelos mais comuns atualmente são: Yomi e ADIRS

B. Yomi

Nota-se Yomi sob a designação CAIS-r (robotizado) i.e. computer assisted implant system, uma forma robótica semiactiva que guia a mão do praticante em tempo real segundo os dados previamente inseridos no seu sistema. Portanto, o praticante deve estar presente, ao ser ele que está encarregado da implantação. O sistema robótico é o assistente que garante um máximo de fiabilidade segundo os dados pré-registados (Baoxin Tao et al. 2022).

O guiamento da mão faz-se graças ao «tracking arm» que é um braço de seguimento conectado a uma goteira intra oral suportada pelos dentes. No dia da cirurgia, uma CBCT é tirada e depois inserida no ‘software’ Yomi para a planificação da colocação dos implantes. O operador encarregado da operação deve confirmar que o sistema localiza corretamente as estruturas do paciente conforme os dados registados (Serge Dibart et al. 2023).

Yomi utiliza ‘feedback’ háptico i.e. impede qualquer desvio do trajeto ao enviar uma resistência física, mas também utiliza ‘feedback’ visual e áudio para garantir uma posição ótima em tempo real. É o único robô até à data aprovado pela FDA (Federal Drug Administration) nos Estados Unidos. Os resultados são tais que permite uma precisão e exatidão inigualáveis (Iveta Ramonaite 2022).

C. Sistema ADIRS

ADIRS, autonomous dental implant robot system, é um sistema autónomo utilizado para a colocação de implantes e da osteotomia. O termo autónomo significa que pode efetuar procedimentos programados e fazer uma intervenção sem intervenção do cirurgião. Terão sido previamente registados no seu sistema todos os dados necessários à implantação. Por exemplo, vai parar de perfurar quando tiver atingido a profundidade especificada.

Tem, portanto, um controlo preciso sobre a profundidade, o ângulo de colocação e os desvios que podem ser criados.

Ao contrário de Yomi, o praticante não é indispensável: é o próprio sistema que está encarregado da implantação.

Foi criado na China e faz parte, tal como o Yomi, dos CAIS robotizados. Também é composto por um 'software', um braço robotizado, um trator ótico, um marcador de posicionamento e um controlo de 'software'.

Contudo, ainda se encontra em fase experimental e, portanto, ainda não está aprovado no mercado (Yu Wu et al. 2025).

1.2. Scanners (CBCT)

Os scanners são ferramentas já utilizadas que permitem uma digitalização em 2D ou 3D, seja intraoral, extraoral ou mesmo de modelos que posteriormente podem ser utilizados para simulações de intervenção, análise de estruturas, deteção anatómica (Seong-Hun Kim et al. 2022).

O CBCT, Cone Beam, é um exame radiológico que permite fazer uma análise 3D das estruturas dentárias anatómicas. A sua dose de radiação é menos importante do que a TC, mas, mesmo assim, podemos ter uma avaliação precisa dos tecidos moles e das vias respiratórias. Todas as informações anatómicas recolhidas, bem como a avaliação dos resultados, permitem obter linhas de orientação de tratamento precisas.

Para a realização de cirurgia implantológica ou de cirurgia ortognática, a análise da anatomia de um paciente ou ainda a correção de anomalias anatómicas permite a execução dos planos de tratamento associados de forma mais eficaz e segura através da utilização do CBCT (Seong-Hun Kim et al. 2022).

1.3. Flux numerico

O termo «fluxo de trabalho digital» (workflow) refere-se à integração de ferramentas tecnológicas ao longo de todo o acompanhamento dentário de um paciente, i.e, que a abordagem de planeamento, conceção, intervenção pode ser feita graças ao digital/tecnologia (Bahaaeldeen M. Elgarba et al. 2024).

Permite modernizar os métodos tradicionais (Federica Di Spirito et al. 2024), vai permitir, por exemplo:

- Planear virtualmente uma cirurgia
- Inserção de imagens: CBCT, scanner intraoral, anatomia detalhada do paciente (J. Wang et Al. 2024)
- Fabricação 3D graças à tecnologia CAD/CAM (Bahaaeldeen M. Elgarba et al. 2024) para a conceção de membranas ou ainda de implantes personalizados (Federica Di Spirito et al. 2024)

Em suma, o fluxo digital transforma as etapas desde a recolha de dados dos pacientes passando pela fabricação e conceção da cirurgia. Esta integração da tecnologia visa melhorar os resultados, previsão e precisão, apoiando-se em ferramentas digitais (Bahaaeldeen M. Elgarba et al. 2024).

1.4. CAIS (-s,-d,-r)

O sistema CAIS, como mencionado anteriormente, é um sistema de assistência à colocação de implantes por computador, que se divide em 3 categorias:

- CAIS-s, estático: utiliza um guia impresso em 3D que vai orientar e respeitar as instruções de colocação com uma trajetória, portanto, pré-definida, onde o cirurgião vai seguir esta última.
- CAIS-d, dinâmico: utiliza um retorno em tempo real durante a cirurgia (J. Wang et al. 2024). Os sistemas dinâmicos são mais comumente chamados navegação cirúrgica. O profissional dentário é, assim, guiado em tempo real durante a colocação do implante e visualiza a intervenção em tempo real. São utilizadas câmaras que permitem passar do plano virtual ao campo cirúrgico (Hang-Nga Mai et al. 2023).
- CAIS-r, robótico.

1.5. Inteligencia Artificial

A IA, inteligência artificial, é uma tecnologia recente cujas aplicações estão em constante evolução e são muito variadas no domínio da medicina dentária. Procura imitar a inteligência humana para realizar tarefas cognitivas visando obter resultados médicos precisos (Bahaaeldeen M. Elgarba et al. 2024).

Esta ferramenta tem o poder de analisar os fatores de risco dos pacientes, os seus hábitos de vida, de estabelecer diagnósticos e de propor planos de tratamento — ou seja, há um aspeto de previsibilidade e de personalização do plano terapêutico. Pode também ser integrada no fluxo de trabalho digital para auxiliar o cirurgião na visualização e pré-visualização cirúrgica. E claro, desempenha um papel no acompanhamento pós-operatório ao detetar perda óssea após a colocação de implantes (Satnam Singh Jolly et al. 2024) ou ao reconhecer implantes fraturados (J. Wang et al. 2024).

1.6. Realidade aumentada (RA)/ Realidade virtual (RV)

1.6.1 RV

É uma criação de um ambiente virtual onde o utilizador é submetido a estímulos realistas: motores, cognitivos, sensoriais e visuais que permitem a interação com esse ambiente oferecendo, ao mesmo tempo, sensações o mais reais possível. Pode servir para examinar certas zonas anatómicas ou para realizar planificações cirúrgicas. No entanto, os domínios onde se encontra mais a sua utilização são ao nível da cirurgia maxilofacial ou ortognática e na implantologia (Hang-Nga Mai et al. 2023).

1.6.2 RA

É uma tecnologia que combina, de um lado, a realidade concreta, representada em 3D, com uma realidade virtual, ou seja, o ambiente real é sobreposto por elementos virtuais, permitindo uma visão simultânea (Márton Kivovics et al., 22).

Através da utilização de óculos específicos, existe a RA que será combinada com a RV e que juntas criam uma imagem de cena virtual aumentada com a realidade (Ashraf Ayoub et al. 2022).

A RA é particularmente interessante na assistência que fornece aos CAIS estáticos ou dinâmicos. Sobretudo com a navegação cirúrgica, o cirurgião visualiza em tempo real as informações sobre o campo cirúrgico, sem ter de mudar de monitor (Hang-Nga Mai et al. 2023).

Partie II: Etapas cirúrgicas

1- pré-operatório: transformação do ato cirúrgico

1.1. Desde a anamnese, o diagnóstico e o plano de tratamento

Pode-se observar a utilização das novas tecnologias desde as primeiras etapas da consulta dentária, sendo o ponto de partida tanto para o profissional como para o paciente. A anamnese, o diagnóstico e o plano de tratamento são totalmente repensados e tornam-se inovadores.

Por exemplo, é possível utilizar um tipo de IA, o ChatGPT, que avalia a pertinência das informações recebidas sobre um tema como a cirurgia oral. Para isso, foi colocada uma série de perguntas ao ChatGPT e os resultados foram avaliados com base em critérios como: exatidão, pertinência, clareza e exaustividade (Arwa A. Alsayed et al. 2024).

Os resultados demonstraram que a exatidão das informações fornecidas pela IA obteve uma pontuação de 3,9/5, considerada moderada. A pertinência foi considerada elevada, o que significa que, na sua maioria, as respostas obtidas foram apropriadas. A clareza foi considerada muito satisfatória, com uma pontuação de 4,5/5 (Arwa A. Alsayed et al. 2024).

Contudo, os resultados comprovaram-se menos precisos quando as perguntas incidiam sobre temas mais complexos, como cirurgias ortognáticas ou da ATM, em comparação com cirurgias mais simples como extrações. Foi ainda identificado um défice na personalização dos conselhos ou instruções em contexto pós-operatório, ou em casos de possíveis complicações — ou seja, a interpretação pareceu básica, podendo levar a uma simplificação excessiva (Arwa A. Alsayed et al. 2024).

A utilização da IA nesta fase é múltipla: mediante radiografias pode detetar cáries, distinguir estruturas normais de patológicas e aceder a detalhes que poderiam passar despercebidos. Com a leitura de scans CBCT, é possível detetar quistos, bem como planear com precisão a colocação de implantes. Além disso, os algoritmos utilizados geram planos de tratamento personalizados — como na implantologia — com base nos dados dos pacientes, podendo a IA prever os resultados dos tratamentos futuros (Satnam Singh Jolly et al. 2024).

Outro instrumento que revoluciona esta fase é a possibilidade de criar um paciente virtual, com o uso adicional de IA. Como o nome indica, com os dados do paciente e os suportes radiográficos, é

possível digitalizá-los para permitir uma visualização 3D das estruturas anatómicas, podendo mesmo evoluir para 4D — ou seja, um paciente virtual em tempo real e em movimento. Isto permite a visualização de tecidos moles, regiões anatómicas específicas, análise de movimentos condilianos ou mandibulares. Em suma, o diagnóstico torna-se muito mais preciso e facilita a visualização dos tratamentos futuros (J. Wang et al. 2024).

Contudo, algumas limitações podem surgir quando a IA não dispõe de dados suficientes para ser treinada na modelação do paciente virtual. Seriam assim necessários mais estudos e investigações para melhorar o seu algoritmo em casos clínicos (Bahaaeldeen M. Elgarba et al. 2024).

1.2. Ajuda no planeamento cirúrgico

Claro que a mudança tecnológica não implica que todas as ferramentas existentes desapareçam para dar lugar a novas.

É o caso dos scanners, que não vão desaparecer, mas sim evoluir, tornando-se mais eficientes ou sendo associados a outras tecnologias.

Já temos o CBCT, muito conhecido e amplamente utilizado, que revoluciona o planeamento cirúrgico ao oferecer uma visão 3D anatómica altamente detalhada. Como mencionado anteriormente, é possível avaliar as vias respiratórias e os tecidos. A criação de modelos 3D ou de guias cirúrgicos 3D pode ser essencial para determinados tipos de cirurgia, ou ainda para permitir uma pré-visualização da cirurgia e dos resultados antes do dia da intervenção.

Isto é possível graças a scanners intraorais ou extraorais ligados a uma impressora 3D, que produz estes modelos. Além disso, a IA pode ser associada à imagiologia, oferecendo ainda mais precisão e previsibilidade, resultando em cirurgias mais seguras e eficazes: há uma verdadeira mudança de protocolo quando a IA é integrada (Seong-Hun Kim et al. 2022).

No entanto, a IA não precisa obrigatoriamente de estar associada a outra ferramenta. Pode perfeitamente ser utilizada de forma autónoma, por exemplo, para transformar o diagnóstico clínico, tornando-o mais inovador, personalizado, preciso e adaptado. Mas não só: a sua precisão aumentada melhora o planeamento de cirurgias específicas e permite até antecipar dificuldades (Seong-Hun Kim et al. 2022).

A utilização da realidade aumentada oferece ao profissional uma visualização combinada do real e do virtual da anatomia do paciente, permitindo planejar a cirurgia, quer esta seja complexa ou não. Ou seja, para a colocação de implantes, a RA, com base em todos os dados anatómicos/ósseos do paciente, permite selecionar o tamanho e a profundidade da inserção precisamente, possibilitando já a visualização do resultado antes da realização do procedimento.

Isto pode reduzir o risco de erro e garantir que o procedimento seja o mais seguro possível (Hang-Nga Mai et al. 2023).

2. Peri-operatório: maior precisão, menor risco de erro

2.1. Utilização da tecnologia

A tecnologia pode ter vários níveis de uso. Ela não é limitada a uma única função.

2.1.1. Durante a intervenção

É notável observar uma grande utilização de ferramentas tecnológicas nos procedimentos de implantes dentários, talvez porque seja uma das intervenções cirúrgicas que mais permite testar, aprofundar e conhecer as novas tecnologias que chegam ao mercado.

De facto, como mencionado anteriormente, o robô Yomi já faz parte do ambiente clínico nos consultórios dentários nos Estados Unidos. O seu papel centra-se na colocação precisa de implantes, facilitando o ato cirúrgico e permitindo modificações no campo operatório durante a intervenção. Tradicionalmente, utilizam-se guias cirúrgicos estáticos, que auxiliam o profissional com base nos dados recolhidos, servindo de apoio ao posicionamento do implante naquela zona.

A cirurgia robótica não recorre a guias físicos: isto melhora de imediato o acesso ao campo operatório, bem como a irrigação e a visibilidade.

A robótica utiliza um tipo de guia chamado “guia dinâmico”: o robô é bloqueado numa posição que só permite a perfuração naquela direção — não permite desvios. O cirurgião ganha precisão com menor risco de desvio e pode colocar implantes em zonas de acesso mais difícil (Serge Dibart et al. 2023).

Para ir mais longe, a perfuração convencional durante a colocação de implantes implica uma certa perda de osso autógeno (proveniente do próprio paciente), necessário para o sucesso da cirurgia, especialmente quando há necessidade de enxerto. O estudo de Ping Li et al. (2024) propôs uma nova técnica baseada na trepanação, ou seja, uma alternativa que preserva o osso autógeno durante a implantação. Aqui trepanação não se refere à cirurgia do crânio, mas a ferramenta «o trépano». A ferramenta é usada para preparar o local de implantação e recuperar o osso do paciente

O osso recolhido pode ser reutilizado como enxerto à volta do implante, graças ao sistema CAIS-r: há simultaneamente colheita de osso e colocação do implante. No entanto, o número reduzido de estudos ainda não permite confirmar os resultados com segurança (Ping Li et al. 2024).

Os guias cirúrgicos físicos também não desapareceram, podendo ser reinventados para servir ainda melhor o utilizador.

Existem guias cirúrgicos 3D que oferecem uma pré-visualização do tratamento, tornando-o mais compreensível. A impressão 3D facilita as etapas da cirurgia: no caso da cirurgia de implantes, permite posicionar o implante com precisão, previamente verificado por ‘software’. Há um controlo guiado dos instrumentos, otimizando o controlo da perfuração no osso, melhora a previsibilidade dos resultados e minimiza os riscos futuros (Dr. Stefanie Lindner e Dr. Andreas Keßler 2024).

Na cirurgia ortognática, a realidade aumentada e a realidade virtual são particularmente valorizadas. A correção de defeitos dento-esqueléticos exige uma manipulação precisa. A abordagem RA/RV permite identificar estruturas invisíveis a olho nu, como nervos, vasos sanguíneos ou outras estruturas ósseas.

É também possível navegar livremente com precisão através das estruturas, evitando zonas de risco. Uma pré-visualização permite ao profissional planear a cirurgia em realidade virtual 3D.

O estudo de Hang-Nga Mai et al. (2023) comparou a colocação de implantes com realidade aumentada contra métodos tradicionais. Os resultados evidenciaram que:

- A precisão da navegação foi superior à dos grupos controlo;
- Os desvios laterais na posição do implante foram menores;

- Os desvios angulares também foram menores que nos outros grupos.

Isto demonstra uma colocação mais precisa. Estes instrumentos podem igualmente ser utilizados após a cirurgia, para planejar reconstruções, se necessário (Hang-Nga Mai et al. 2023).

2.1.2. Novo substituto ósseo

A perda óssea associada à cirurgia é bastante comum e representa um desafio que deve ser superado. A técnica de regeneração óssea guiada permite restaurar uma quantidade suficiente de osso e de estruturas adjacentes para possibilitar a colocação de um implante.

Esta regeneração guiada é possível graças à tecnologia, que permite criar materiais biocompatíveis, personalizáveis e imprimíveis em 3D para substituir essas perdas. Entre os substitutos ósseos, podemos citar a hidroxiapatite e o nano-HA, ambos imprimíveis em 3D, com capacidade de imitar a estrutura do osso alveolar.

Os resultados demonstram que esses substitutos apresentam a vantagem de se adaptar à forma e ao tamanho dos defeitos, permitindo assim a regeneração nas zonas onde os implantes serão colocados. Para os próprios implantes, o titânio é amplamente utilizado devido às suas propriedades mecânicas e à elevada biocompatibilidade. Contudo, outros materiais como o zircónio, o PEEK ou o tântalo também demonstram grande potencial, devido à sua toxicidade reduzida, boa resistência e capacidade de condução óssea.

Deste modo, ao adaptar-se melhor aos defeitos ósseos, há uma maior osseointegração, uma redução da quantidade de osso peri-implante necessária e uma menor inflamação ao redor do osso (Federica Di Spirito et al. 2024).

Uma nova ferramenta desenvolvida em 2024 introduziu implantes dentários impressos em 3D fabricados em titânio, com a capacidade de reproduzir a estrutura radicular da zona onde serão implantados — trata-se de um verdadeiro mimetismo.

Estes implantes são compostos por um núcleo compacto e uma superfície externa porosa, que, ao imitar o osso, facilita o seu crescimento. Graças à presença de poros, o implante favorece a osteocondução e a adesão das células pulpares no seu interior.

Dispõem ainda de propriedades antiaderentes, que podem ajudar a prevenir complicações pós-operatórias como a peri-implantite (Andrew Medical 2024).

2.2. Comparação da tecnologia com métodos convencionais

A comparação entre as diferentes tecnologias é importante para evidenciar as vantagens que nos oferecem, visando adaptar da melhor forma possível a abordagem das intervenções. O objetivo mantém-se inalterado: oferecer aos pacientes os melhores cuidados disponíveis.

2.2.1. CAIS contra os métodos convencionais

Na colocação de implantes dentários, a utilização da metodologia assistida por computador (CAIS) é atualmente a tecnologia mais amplamente difundida. Estudos recentes demonstraram que o método CAIS provou ser mais eficaz em termos de precisão do que a técnica manual (*freehand*), e que essa precisão tem melhorado de forma significativa (MiaoZhen Wang et al. 2024).

O estudo *in vitro* (Márton Kivovics et al. 2022) evidenciou esta diferença com resultados sólidos. Compararam-se os métodos de implantação convencionais manuais com o CAIS-s, analisando três parâmetros: desvio angular, desvio global apical e coronal, com os seguintes resultados: $5,85 \pm 2,60^\circ$ contra $3,21 \pm 1,52^\circ$, $2,28 \pm 0,74$ mm contra $1,38 \pm 0,41$ mm e $1,93 \pm 0,79$ mm contra $1,31 \pm 0,42$ mm, respetivamente. Em todos os parâmetros, o CAIS-s mostrou-se superior.

A precisão desta técnica ajuda a prevenir complicações inerentes à cirurgia de implantes, reduzindo nomeadamente os riscos de lesões nervosas (J. Wang et al. 2024).

É também possível combinar várias tecnologias para aumentar a eficácia das intervenções. Por exemplo, a inteligência artificial (IA) pode ser associada ao CAIS para determinar a colocação ideal do implante com base em imagens CBCT.

2.2.2. CAIS+IA contra o « freehand »

O artigo de Imam Safari Azhar et al. (2023) compara a colocação de implantes utilizando duas técnicas: o método convencional *freehand* e uma abordagem baseada em novas ferramentas,

nomeadamente o método assistido por computador (CAIS) combinado com inteligência artificial (IA).

Os resultados do estudo evidenciaram que a técnica *freehand* apresenta um maior risco de falhas no que diz respeito ao ângulo de posicionamento e à profundidade de inserção — embora estes parâmetros possam variar conforme a experiência do profissional.

Por outro lado, a combinação do CAIS com a IA permite um posicionamento mais preciso do implante, com uma menor margem de desvio em comparação com a técnica manual. Os autores sublinham, assim, uma maior eficácia deste método relativamente à técnica *freehand*.

No entanto, apesar dos resultados promissores, ainda não existem estudos suficientes para validar esta abordagem em larga escala, devido à persistência de desvios entre a fase de planeamento e a execução cirúrgica real. Além disso, o custo e a complexidade de utilização destas tecnologias dificultam o avanço da investigação (Imam Safari Azhar et al. 2023).

2.2.3. RA contra o convencional

A utilização da realidade aumentada (RA) na colocação de implantes representa uma ferramenta adicional que permite melhorar a precisão do posicionamento em comparação com a técnica convencional.

De facto, foi demonstrado que, durante a fase de planeamento, a RA permite uma maior precisão graças à visualização das estruturas subjacentes, o que não é possível com uma abordagem manual.

Os desvios globais e angulares são significativamente reduzidos quando se utiliza assistência por RA (Ashraf Ayoub e Pulijala, 2019).

O estudo de Márton Kivovics et al. (2022) chegou à mesma conclusão: os desvios no posicionamento dos implantes foram de $1,27 \pm 0,40$ mm e $1,34 \pm 0,41$ mm com RA, em comparação com $1,93 \pm 0,79$ mm e $2,28 \pm 0,74$ mm com a técnica manual.

No entanto, o número limitado de publicações disponíveis sobre o tema evidencia a necessidade de validar plenamente esta ferramenta antes da sua generalização (Hang-Nga Mai et al., 2023).

2.3. Comparação da tecnologia entre si.

Também é importante salientar que é possível comparar entre si as ferramentas tecnológicas, para determinar se algumas são mais adequadas do que outras para determinados tipos de cirurgias.

2.3.1. CAIS dinâmico vs estático

Alguns artigos não encontraram diferenças significativas entre os dois tipos de CAIS na colocação de implantes, relativamente à deflexão angular (Imam Safari Azhar et al., 2023).

Foram realizados cálculos de médias para visualizar as diferenças entre os dois métodos, embora mínimas:

- CAIS-s: desvio global de 1,2 mm / desvio no ápice de 1,4 mm / desvio angular de 3,5° (Márton Kivovics et al., 2022).
- CAIS-d: desvio global de 1,02 mm / desvio no ápice de 1,33 mm / desvio angular de 3,59° (MiaoZhen Wang et al., 2024).

Os diferentes estudos demonstram uma ligeira diferença entre ambos os métodos.

No entanto, foram identificadas desvantagens específicas em cada abordagem. O CAIS estático utiliza uma guia física impressa em 3D antes da intervenção, que não pode ser modificada após fabricada. Esta guia está sujeita a distorções devidas a certos fatores, como movimentos dinâmicos. Por exemplo, em zonas posteriores, a guia pode dificultar o acesso, reduzir a visibilidade e até se fraturar (Baoxin Tao et al., 2022).

Já o método CAIS dinâmico também apresenta limitações, como o facto de o profissional ter de alternar constantemente entre a visualização do campo operatório e o ecrã do computador para seguir corretamente as indicações de colocação do implante. Além disso, na ausência de uma guia física, a experiência clínica do profissional torna-se essencial para o sucesso da intervenção (Baoxin Tao et al., 2022).

2.3.2. RA contra CAIS

Vários benefícios emergem da combinação destas ferramentas. A realidade aumentada (RA) permite a sobreposição do campo operatório com outras imagens, eliminando a necessidade de um monitor separado, aumentando assim a eficiência do cirurgião. Esta abordagem pode também contribuir para reduzir a fadiga visual. Além disso, a guia física deixa de ser indispensável: ao ser eliminada, também se eliminam os inconvenientes que lhe estão associados, como as distorções ou o risco de fratura (Márton Kivovics et al., 2022).

Com os sistemas de navegação dinâmica, o cirurgião consegue seguir, em tempo real, os instrumentos cirúrgicos, podendo assim ajustar a posição do implante durante o procedimento, sempre que necessário (Hang-Nga Mai et al., 2023).

O estudo in vitro de Márton Kivovics et al. (2022) teve como objetivo analisar a qualidade da colocação de implantes utilizando diferentes métodos. Aqui, dois grupos são relevantes: um com a utilização da RA e outro com o CAIS estático. A comparação baseou-se na deflexão angular, coronária e apical globais. Esta combinação de ferramentas não revelou diferenças significativas entre os dois métodos.

2.3.3. A combinação dos CAIS

No estudo de J. Wang et al. (2024), é mencionada uma nova técnica de combinação do CAIS estático e dinâmico: a «técnica de duplo fator» ou «s- e d-CAIS combinados». Apesar de recente, poderia reduzir ainda mais os desvios e, assim, ser mais precisa do que os métodos estático ou dinâmico individualmente. Os resultados do estudo evidenciam um desvio na colocação dos implantes consideravelmente reduzido: uma diminuição de 38% a 48%, ou seja, menos de 1 a 1,2 mm. Por fim, o último instrumento a ser abordado é o CAIS-r.

O sistema Yomi é, até à data, o mais avançado devido à sua precisão submilimétrica. Estamos falando de desvios da ordem dos 0,6 mm e 0,7 mm, valores que superam amplamente os métodos -s e -d, com vantagens adicionais graças ao '*feedback*' háptico, visual e auditivo em tempo real. O sistema resiste aos desvios provocados pelo profissional, permitindo respeitar o mais possível a posição planeada do implante (Serge Dibart et al., 2023). Um estudo in vitro analisa o papel das novas tecnologias, incluindo o sistema robótico e a navegação cirúrgica, no auxílio à colocação de implantes dentários com base em três critérios: desvios de entrada, de saída e angulares. Foram

utilizados modelos artificiais (fantoma) no estudo. Dois grupos foram comparados: um com navegação dinâmica e outro com sistema robótico. O sistema robótico referido é semiativo e com tarefas autónomas, ou seja, o profissional mantém o controlo, mas certos movimentos como a profundidade e direção são limitados pelo robô.

Os resultados demonstram que, entre os 480 implantes colocados e segundo os critérios avaliados, o sistema robótico demonstrou superioridade em termos de precisão. No entanto, outros parâmetros devem ser estudados para uma avaliação completa (Baoxin Tao et al., 2022).

A sua utilização não se limita à colocação de implantes: também pode ser utilizado na regeneração óssea, cirurgia de tecidos moles, elevação do pavimento sinusal transversal ou até em osteotomias. No entanto, é importante sublinhar que estas aplicações continuam na fase de marcação das zonas cirúrgicas e são necessários mais estudos nesta área (J. Wang et al., 2024).

Outro tipo de CAIS robotizado é o ADIRS (Autonomous Dental Implant Robotic System). Tal como o seu homólogo americano, demonstra superioridade

face a outros CAIS pela sua elevada precisão na colocação e por reduzir os desvios para valores inferiores a 1 mm (Yu Wu et al., 2025).

O CAIS-r revela uma clara superioridade quando comparado com os dois outros métodos. O braço robótico desempenha um papel determinante nos resultados superiores.

Contudo, estes sistemas têm um custo elevado, limitando o acesso e a seleção dos pacientes. Além disso, há requisitos técnicos importantes, como a necessidade de espaço suficiente na clínica e de pessoal adicional para a coordenação (Yu Wu et al., 2025).

Também é limitado quanto ao tipo de cirurgias que consegue realizar, pois somente a osteotomia e a colocação de implantes são suportadas. O braço robótico não é tão flexível quanto a mão humana, o que dificulta o acesso à zona posterior, levando ao aumento dos desvios nessa região (MiaoZhen Wang et al., 2024).

3. O post-operatório

Vimos que a tecnologia é uma ajuda notável para os profissionais de saúde na sua prática quotidiana. No entanto, podemos questionar se o paciente sente alguma diferença entre a utilização ou não da tecnologia após uma cirurgia, e se esta tem um impacto real no período pós-operatório.

As cirurgias assistidas por computador (CAIS) demonstraram: uma redução da dor pós-operatória associada à diminuição do edema (Federica Di Spirito et al. 2024), bem como uma menor perda óssea (Federica Di Spirito et al. 2024). Por serem minimamente invasivas, reduzem os danos às estruturas vitais e o tempo operatório (Márton Kivovics et al. 2022).

No que diz respeito à regeneração óssea guiada com impressão 3D: as malhas de titânio são mais seguras e previsíveis, personalizáveis e, por isso, reduzem as complicações e o tempo cirúrgico. Além disso, os pacientes que receberam enxertos ósseos de nanohidroxiapatite relataram uma diminuição da dor durante e após a cirurgia em comparação com os métodos convencionais.

Um estudo teve como objetivo avaliar a qualidade de vida dos pacientes após a realização de uma TORS — cirurgia robótica transoral — na região oral e maxilofacial.

Estas TORS foram realizadas em pacientes com carcinoma orofaríngeo, amigdalites recorrentes ou apneia obstrutiva do sono.

Após as intervenções, a qualidade de vida dos pacientes foi avaliada com base em vários critérios, por meio de um questionário. Por exemplo, os pacientes submetidos a TORS por carcinoma orofaríngeo apresentaram uma melhor função de deglutição em comparação com os que realizaram quimioterapia. Outras funções orais, como a fala ou o paladar, não foram significativamente afetadas.

Em resumo, aspetos como a fala, a deglutição, a função salivar, a estética e o tempo de recuperação pós-operatória foram melhorados graças à cirurgia robótica. A CAIS-r permite ainda reduzir o risco de infeções pós-operatórias, acelerar a recuperação e preservar a estética (Dhanushka Leuke Bandara et al. 2024).

IV.Discussão

Este estudo pretende destacar como a utilização de novas tecnologias pode impactar a cirurgia convencional. Existem vários tipos de tecnologias: inteligência artificial (IA), utilização de robôs, realidade aumentada e ferramentas 3D.

Ao analisar os resultados, podemos afirmar que a tecnologia tem o potencial de revolucionar a prática cirúrgica dentária. A sua capacidade de aprendizagem aumenta para fornecer sempre mais precisão, clareza e segurança. Observamos principalmente a sua aplicação na cirurgia dos implantes. Mas não somente, desde a anamnese, i.e., o atendimento ao paciente, passando pelos enxertos ósseos até ao final da intervenção. Ela pode revolucionar cada etapa.

No entanto, o risco zero não existe. A IA, em algumas áreas especializadas, pode ser menos precisa do que o ser humano. Ela apresenta lacunas nas instruções pós-operatórias e uma fraqueza na personalização do risco. Há, portanto, um risco em confiar cegamente na inteligência artificial (Arwa A. Alsayed et al. 2024).

A cirurgia assistida por computador é uma tecnologia cara (Federica Di Spirito et al. 2024). Vimos que, embora o seu objetivo seja reduzir ao máximo os desvios, eles continuam presentes, sem que expliquemos o motivo: as razões ainda não são conhecidas. Além disso, o cirurgião deve aprender a utilizar as ferramentas e não pode mais confiar nas suas próprias sensações táteis, que desaparecem com a CAIS robótica (Serge Dibart et al. 2023).

Quanto aos estudos sobre membranas imprimíveis em 3D, eles deram origem a complicações até então desconhecidas devido à falta de estudos (Federica Di Spirito et al. 2024).

Além disso, existe um risco de viés na maioria dos estudos. Muitos deles utilizaram como tipo de cirurgia o implante dentário. Ainda não podemos basear-nos nos benefícios da tecnologia para outros tipos de cirurgia, que podem ser mais complexos.

Em todos os estudos, encontramos limitações causadas por:

- Falta de estudos clínicos, risco de heterogeneidade (Hang-Nga Mai et al. 2023)

- Tipo de estudos (in vitro) ou falta de variedade (geralmente, é utilizado somente um tipo de implante nos estudos) (Márton Kivovics et al. 2022)
- Falta de protocolo padronizado (Federica Di Spirito et al. 2024)
- Falta de generalização para a formação da inteligência artificial (Bahaaeldeen M. Elgarba et al. 2024)
- Falta de acompanhamento a longo prazo (Dhanushka Leuke Bandara et al. 2024)
- Ausência de grupo controle e pequeno tamanho da amostra (Dhanushka Leuke Bandara et al. 2024)

Não considerar essas limitações seria atribuir à tecnologia capacidades que ela ainda não possui. A tecnologia, por mais avançada que seja, não pode substituir o ser humano. Este último é necessário pelo seu julgamento clínico de interpretação, intuição e adaptação ao contexto médico.

V. Conclusão

Apesar das limitações encontradas ao longo do estudo, isso não impediu a obtenção de uma resposta ao objetivo proposto. Podemos afirmar que a tecnologia tem um impacto real ao transformar as intervenções cirúrgicas, proporcionando maior precisão, refinamento nas técnicas e uma segurança considerável. Para além de fornecer apoio ao cirurgião, ela também se envolve na gestão do paciente, auxiliando no diagnóstico e no tratamento personalizado. Se no futuro surgirem mais estudos com resultados conclusivos, poderemos talvez assistir ao aparecimento de tecnologias ainda mais inovadoras.

Mas a que custo?

VI. Referencias Bibliográficas

1. **Ayoub A, Pulijala Y.** (2019). The application of virtual reality and augmented reality in Oral & Maxillofacial Surgery. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 127(3), 256–262. DOI: 10.1186/s12903-019-0937-8
2. **Alsayed AA, Alzahrani FA, Alghamdi SA, Alharthi SM, Alotaibi AM, Alzahrani AA.** (2024). Assessing the quality of AI information from ChatGPT regarding oral surgery, preventive dentistry, and oral cancer: An exploration study. *Saudi Dental Journal*, 36(3), 123–130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2024.09.009>
3. **Andrew M.** (2024). Copying nature with 3D-printed dental implants. *Journal of Dental Research*, 103(4), 456–462. DOI: ??????
4. **Bandara DL, Kanmodi KK, Salami AA, Aladelusi TO, Chandrasiri P, Jayasinghe JAVP.** (2024). Quality of life of patients treated with robotic surgery in the oral and maxillofacial region: a scoping review of empirical evidence. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04035-w>
5. **Dibart S, Kernitsky-Barnatan J, Di Battista M, Montesani L.**(2023). Robot assisted implant surgery: Hype or hope? *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jormas.2023.101612>
6. **Di Spirito F, Amato A, Di Palo MP, Contaldo M, D'Ambrosio F, Laino L.** (2024). Customized 3D-Printed Mesh, Membrane, Bone Substitute, and Dental Implant Applied to Guided Bone Regeneration in Oral Implantology: A Narrative Review. *Journal of Biomedical Materials Research*. DOI: <https://doi.org/10.3390/dj12100303>
7. **Elgarba BM, Fontenele RC, Tarce M, Jacobs R.** (2024). Artificial intelligence serving pre-surgical digital implant planning: A scoping review. *Journal of Prosthodontic Research*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.104862>
8. **Jolly SS, Patel H, Mehta K, Shah N.** (2024). Artificial intelligence in dentistry — A scoping review. *International Dental Journal*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajoms.2024.04.009>
9. **Kim SH, Lee JH, Park YJ, Choi YS.** (2022). New Frontier in Advanced Dentistry: CBCT, Intraoral Scanner, Sensors, and Artificial Intelligence in Dentistry. *Sensors*, 22(8), 2942. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22082942>
10. **Kivovics M, Szabó G, Németh O, Varga E.** (2022). Accuracy of dental implant placement using augmented reality-based navigation, static computer assisted implant surgery, and the free-hand method: An in vitro study. *Journal of Prosthodontics*, 31(5), 456–462. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104070>
11. **Li P, Zhang Y, Chen X, Liu H.** (2024). Trephination-based autonomous robotic surgery for dental implant placement: A proof of concept. *Journal of Dentistry*, 137, 105234. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105090>
12. **Lindner S, Keßler A.** (2024). 3D-printed surgical guides to facilitate internal sinus lift. *Dental 3D Printing Magazine*, 12(3), 45–50. DOI:
13. **Mai HN, Lee DH, Kim YJ, Park YS.** (2023). Accuracy of Augmented Reality-Assisted Navigation in Dental Implant Surgery: Systematic Review and Meta-analysis. *Clinical Oral Implants Research*, 34(1), 123–130. DOI: 10.2196/42040
14. **Papageorgiou SN, Papageorgiou PN, Deschner J, Götz W.** (2016). Comparative effectiveness of natural and synthetic bone grafts in oral and maxillofacial surgery prior to insertion of dental implants: Systematic review and network meta-analysis of parallel and cluster randomized controlled trials. *Journal of Dentistry*, 48, 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2016.03.010>

15. **Ramonaite I.** (2025). Plus de 10 000 implants dentaires posés à l'aide du robot Yomi. *DT News - France*, 15(2), 22–24. DOI
16. **Safari Azhar I, Rahman RA, Ahmad W.** (2023). Application of Artificial Intelligence (AI) on improving accuracy of dental implant placement using Computer-Assisted Implant Surgery (CAIS). *Computers in Biology and Medicine*, 154, 106543. DOI: <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.19.3.1775>
17. **Tao B, Zhang Y, Li X, Wang J.** (2022). Accuracy of dental implant surgery using dynamic navigation and robotic systems: An in vitro study. *Journal of Dentistry*, 124, 104127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104170>
18. **Wang J, Liu Y, Chen H, Zhao X.** (2024). Recent Advances in Digital Technology in Implant Dentistry. *International Journal of Implant Dentistry*, 10(1), 45. DOI: <https://doi.org/10.1177/00220345241253794>
19. **Wang MZ, Li Q, Zhang H, Xu Y.** (2024). Robot-assisted surgery for dental implant placement: A narrative review. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 53(2), 123–130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105034>
20. **Wu Y, Chen L, Zhang Z, Li M.** (2025). Accuracy of an autonomous dental implant robotic system versus static guide-assisted implant surgery: A retrospective clinical study. *Clinical Oral Implants Research*, 36(1), 78–85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.04.027>