



CESPU
INSTITUTO UNIVERSITÁRIO
DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

Inteligência Artificial na Reabilitação Oral

Planeamento digital do sorriso

Mariana dos Santos Sousa

Dissertação conducente ao Grau de Mestre em Medicina Dentária (Ciclo Integrado)

Gandra, maio de 2023

Mariana dos Santos Sousa

**Dissertação conducente ao Grau de Mestre em Medicina Dentária
(Ciclo Integrado)**

**Inteligência Artificial na Reabilitação Oral
Planeamento digital do sorriso**

Trabalho realizado sob a Orientação de
Professor Doutor José Manuel Mendes

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Eu, acima identificado, declaro ter atuado com absoluta integridade na elaboração deste trabalho, confirmo que em todo o trabalho conducente à sua elaboração não recorri a qualquer forma de falsificação de resultados ou à prática de plágio (ato pelo qual um indivíduo, mesmo por omissão, assume a autoria do trabalho intelectual pertencente a outrem, na sua totalidade ou em partes dele). Mais declaro que todas as frases que retirei de trabalhos anteriores pertencentes a outros autores foram referenciadas ou redigidas com novas palavras, tendo neste caso colocado a citação da fonte bibliográfica.

Agradecimentos

O meu sincero obrigada aos meus pais, os meus pilares. Obrigada pelo apoio incondicional e dedicação ao longo destes 5 anos. Esta conquista não teria sido possível sem o vosso esforço, sacrifício, incentivo, amor e compreensão. Obrigada por estarem sempre ao meu lado e me ajudarem a ultrapassar todos os obstáculos. Obrigada por priorizarem o meu futuro e acreditarem sempre em mim. Obrigada por terem tornado este sonho realidade. Vocês são a minha força e inspiração. Vocês são tudo para mim. Sou muito grata por ser vossa filha.

Ao meu irmão e cunhada, o meu obrigada por toda a ajuda que me deram no decorrer destes anos, por me proporcionarem momentos incríveis, por me terem ensinado a ser melhor, por serem um exemplo para mim e por me terem confiado um dos papéis que mais gosto tenho em desempenhar, ser madrinha da minha princesa, Matilde.

Ao meu anjinho, o meu avô e às minhas estrelinhas, avó e bisavó, obrigada por olharem por mim. A cada etapa concluída, sinto a vossa presença e sei que me irão sempre proteger. Agradeço também a toda a minha restante família, pelo carinho, apoio e confiança depositada em mim ao longo destes 5 anos.

Ao meu namorado, meu parceiro e melhor amigo, que me acompanhou nesta jornada, um enorme obrigada por teres sido incansável. Obrigada por toda a ajuda na realização desta dissertação. Obrigada por todo o apoio, por seres o meu refúgio, por viveres comigo os melhores e piores momentos, por me ajudares no que mais preciso, por me teres proporcionado momentos únicos, por nunca teres desistido de mim e por me incentivares a ser mais e melhor. Sou grata a Deus por ter cruzado os nossos caminhos. Sem ti, não seria certamente a mesma pessoa. O meu obrigada também à tua família, que sempre me acarinhou e acreditou em mim ao longo deste percurso.

Obrigada à minha binómia, a minha companheira destes 5 anos, a melhor pessoa que a faculdade me deu. Juntas ultrapassamos todas as adversidades e conseguimos concluir esta etapa com sucesso. Obrigada por tantos bons momentos, obrigada por estares sempre lá para mim, obrigada por toda a ajuda, partilha e força que me transmitiste. Não podia ter tido melhor

pessoa ao meu lado, foste essencial para o meu crescimento pessoal e académico. Quero-te para sempre na minha vida. Que este seja apenas o início.

Agradeço a todos os meus amigos que estiveram presentes nestes 5 anos, principalmente a minha Marta, que me acompanha há muito tempo. Obrigada por todos os bons momentos, apoio, ajuda e força que me transmitiste. És fundamental na minha vida.

Ao meu orientador, professor doutor José Manuel Mendes, o meu sincero obrigada. Obrigada por todo o conhecimento, apoio, rigor, ajuda e disponibilidade na realização deste trabalho.

Agradeço também ao laboratório Miguel Grilo, por ter disponibilizado o seu material e ter contribuído para a realização deste trabalho.

Resumo

Introdução: A inteligência artificial pode ser definida como uma ciência computacional capaz de aprender e aplicar conhecimentos para realizar tarefas complexas de forma inteligente e independente. Atualmente, existem ferramentas na clínica que contam com essa tecnologia, entre eles podemos encontrar recursos para realizar diagnósticos, planejamentos e tratamentos dentários.

Objetivos: Esta revisão tem o intuito de avaliar se a inteligência artificial é uma mais-valia no processo de planejamento do sorriso, bem como, dar a conhecer de que forma auxilia o clínico, descrever as suas principais aplicações, vantagens e limitações da inteligência artificial na reabilitação oral.

Materiais e Métodos: Foi realizada uma pesquisa na base de dados PubMed, onde se utilizaram as palavras-chave “Artificial Intelligence”, “Dentistry”, “Oral Rehabilitation”, “Intraoral Scanner”, “Digital Planning” e “Virtual Smile Drawing”.

Resultados: Obteve-se 307 resultados com o uso dos filtros “Free full text”, desde o ano 2012, que após a sua análise foram excluídos 176. Dos 131 selecionados para leitura dos abstratos, foram rejeitados 77 e foram lidos os textos completos de 54, onde 13 foram excluídos por não atenderem aos critérios de inclusão, resultando numa seleção de 41 artigos.

Conclusão: O avanço tecnológico é inevitável e a Inteligência Artificial está presente em todo ele, permitindo assim executar tarefas que exigem alta precisão e uma margem de erro praticamente nula, sendo, portanto, uma mais-valia para a Medicina Dentária, em particular na área da reabilitação oral.

Palavras-chave: “Artificial Intelligence”, “Dentistry”, “Oral Rehabilitation”, “Intraoral Scanner”, “Digital Planning” e “Virtual Smile Drawing”.

Abstract

Introduction: Artificial intelligence can be defined as a computational science capable of learning and applying knowledge to perform complex tasks intelligently and independently. Currently, there are tools in the clinic that rely on this technology, among them we can find resources to carry out diagnoses, planning and dental treatments.

Objectives: This review aims to evaluate whether artificial intelligence is an added value in the smile planning process, as well as to highlight how it helps the clinician, describe its main applications, advantages and limitations of artificial intelligence in oral rehabilitation.

Materials and Methods: A search was carried out in the PubMed database, using the keywords "Artificial Intelligence", "Dentistry", "Oral Rehabilitation", "Intraoral Scanner", "Digital Planning" and "Virtual Smile Drawing".

Results: 307 results were obtained using the "Free full text" filters, since 2012, of which 176 were excluded after analysis. Of the 131 selected for abstract reading, 77 were rejected and the full texts were read. 54, where 13 were excluded for not meeting the inclusion criteria, resulting in a selection of 41 articles.

Conclusion: Technological advancement is inevitable and Artificial Intelligence is present throughout, thus allowing tasks that require high precision and a practically zero margin of error to be carried out, therefore being an added value for Dentistry, particularly in the area of oral rehabilitation.

Keywords: "Artificial Intelligence", "Dentistry", "Oral Rehabilitation", "Intraoral Scanner", "Digital Planning" and "Virtual Smile Drawing".

Índice:

1. Introdução	1
2. Objetivos e hipóteses	3
3. Materiais e Métodos	4
3.1. Critérios de elegibilidade	4
3.2. Metodologia de pesquisa bibliográfica	4
3.3. Critérios de inclusão	5
3.4. Critérios de exclusão	5
3.5. Seleção de artigos	6
4. Resultados	7
5. Discussão	14
5.1. IA em Reabilitação Oral	14
5.2. Planeamento digital do sorriso	15
5.3. Sistemas de Diagnóstico que usam IA	16
5.3.1. Exames radiográficos	16
5.3.2. O Pearl	17
5.3.3. Scanner facial	18
5.3.4. Scanner intraoral	18
5.3.4.1. <i>Precise Implants Capture (PIC)</i>	19
5.4. Sistemas de Prognóstico que usam IA	20
5.4.1. Unidades de digitalização – Scanners	20
5.4.2. Digital Smile Design	21
5.4.3. Enceramento de diagnóstico / Mock-up	22
5.5. Sistemas de confeção que usam IA	24
5.5.1. CAD/CAM: Princípios e fundamentos	24
5.5.2. Software CAD	24
5.5.2.1. <i>Programas de desenho</i>	25

5.5.3. Software CAM	25
5.5.3.1. <i>Fresagem</i>	26
5.5.3.2. <i>Impressão 3D</i>	27
5.5.4. O Pearl	28
5.5.5. Generative Adversarial Network 3D	28
5.6. Limitações da IA em Reabilitação Oral	29
6. <i>Conclusão</i>	31
7. <i>Referências bibliográficas</i>	32

Índice de figuras:

Figura 1: Fluxograma PRISMA.

Figura 2: Imagem do CBCT.

Figura 3: Imagem de um scanner intraoral da 3Shape.

Figura 4: Imagem do sistema Precise Implants Capture.

Figura 5: Imagem de um modelo de gesso sendo digitalizado num scanner de bancada.

Figura 6: Imagem de um enceramento diagnóstico digital.

Figura 7: Imagem de um modelo desenhado no CAD.

Figura 8: Imagem de 2 fresadoras.

Figura 9: Imagem de impressora 3D.

Índice de tabelas:

Tabela 1: Critérios PICO.

Tabela 2: Estratégias de busca e bases de dados utilizados.

Tabela 3: Resultados dos artigos.

Lista de abreviaturas, siglas e acrônimos:

IA: Inteligência Artificial

ML: Machine Learning

NN: Neural Network

DL: Deep Learning

CBCT: Tomografia Computorizada de Feixe Cônico

IOS: Scanners Intraorais

DSD: Digital Smile Design

CAD/CAM: software computer-aided design (CAD), computer-aided manufacturing (CAM)

GAN 3D: Generative Adversial Network 3D

2D: Bidimensional

3D: Tridimensional

ATM: Articulação Temporomandibular

PIC: Precise Implants Capture

PMMA: Polimetilmetacrilato

SLA: Estereolitografia

DLP: Projeção de luz digital

DLMS: Sinterização direta de metal a laser

UV: Ultravioleta

STL: Standard Triangle Language

1. Introdução

A medicina dentária encontra-se em constante evolução e tem sido palco de grandes avanços a nível digital pelo uso de técnicas cada vez mais modernas e sofisticadas de modo a melhorar o tratamento dos pacientes e oferecer uma maior segurança aos médicos dentistas. A Inteligência Artificial faz parte desta evolução e está a mudar a área da saúde, tendo contribuído para a solução de problemas, melhorando as condições de trabalho do médico dentista e a qualidade de atendimento ao paciente.^{1,2}

O termo “Inteligência Artificial” (IA) refere-se à capacidade de construir e/ou utilizar máquinas que são capazes de aprender e aplicar conhecimento para realizar tarefas complexas de forma inteligente e independente.^{1,3}

A IA preocupa-se em projetar um sistema de computador capaz de executar funções que se assemelhem ao pensamento humano, como compreensão da linguagem, aprendizagem, raciocínio e resolução de problemas, sendo assim capaz de prever resultados de tratamentos, reconhecer objetos e responder a perguntas.⁴⁻⁷

A aprendizagem automática (Machine Learning – ML) é um ramo da IA onde são usados algoritmos para analisar dados existentes, que permitem fazer previsões de novos dados adquiridos. O mais conhecido dos tipos de ML são as redes neuronais (Neural Network – NN), que apresentam bons resultados, sobretudo quando aplicadas em dados complexos como imagens ou linguagem. A base de todos os NN é o neurónio artificial, inspirado no neurónio humano. Ao agregar e encadear vários neurónios artificiais, formam-se camadas que usam operações matemáticas para formar uma rede que vai ter o objetivo de resolver uma tarefa específica, como a classificação de imagens. A “Deep Learning” (DL) refere-se a muitas camadas de NN, úteis na análise de imagens, sendo capazes de visualizar características simples como linhas, formas e outros padrões macroscópicos.^{5, 8-10}

A evolução digital reflete-se cada vez mais na reabilitação oral e a IA tem sido utilizada neste campo da medicina dentária para tornar o processo de diagnóstico, plano de tratamento e prognóstico mais preciso e eficiente.¹⁰

Com as inúmeras ferramentas digitais que temos ao nosso dispor atualmente, como é o caso da Tomografia Computorizada de Feixe Cónico (CBCT), scanners intraorais (IOS) e faciais, Digital Smile Design (DSD), software computer-aided design (CAD), computer-aided manufacturing (CAM), impressoras 3D e plataformas inovadoras que utilizam a IA, todos os

dados do paciente podem ser sintetizados digitalmente de forma a realizar o plano de tratamento ideal, produzindo um “paciente virtual”.¹¹⁻¹³

O DSD permite analisar detalhadamente as características faciais e dentárias do paciente, fornecendo um guia para criar o design do sorriso, sendo possível a pré-visualização do resultado mesmo antes de ser iniciado o tratamento, o que simplifica imenso a comunicação com o paciente e com o laboratório.¹³⁻¹⁶ Os modelos 3D resultantes das impressões digitais com scanner intraoral, podem ser partilhados digitalmente com o laboratório, onde o técnico irá trabalhar em tempo real através dos ficheiros importados para o CAD/CAM, sendo eliminada a necessidade de o paciente estar presente em várias consultas. Nesse sentido, o planeamento virtual representa uma ferramenta útil para obter informações estéticas para o diagnóstico, plano de tratamento e design da prótese.¹⁵⁻¹⁸

Enquanto anteriormente o processo de diagnóstico e planeamento eram muito demorados, na atualidade, o fluxo de trabalho digital e uso da IA, beneficia os médicos com um atendimento de alta qualidade aos pacientes, oferecendo várias alternativas para atender às suas necessidades estéticas e simplifica protocolos, proporcionando um resultado previsível com risco reduzido de erros na prática.^{3,15,19}

2. Objetivos e hipóteses

O objetivo principal desta revisão sistemática integrativa é avaliar se a inteligência artificial é uma mais-valia no processo de planeamento do sorriso.

Secundariamente, dar a conhecer de que forma auxilia o clínico, bem como identificar quais as principais aplicações, vantagens e limitações da IA na reabilitação oral.

3. Materiais e Métodos

Para a elaboração desta revisão sistemática, foi seguida a metodologia PRISMA (“The Preferred Reporting Items for Systematic Review and Metanalysis”), definida como essencial para o desenvolvimento de qualquer revisão sistemática.

3.1. Critérios de elegibilidade

Foi utilizada a estratégia PICO: “Population (população/participantes), Intervention (intervenção ou exposição para estudos observacionais), Comparison (comparação) e Outcomes (resultados)” (Tabela 1). Foi definido um período de inclusão dos estudos de 11 anos (2012-2023).

Tabela 1 - Critérios PICO.

P	Uso da Inteligência artificial no planeamento digital do sorriso.
I	Identificar as aplicações e limitações da Inteligência Artificial em Reabilitação Oral e dar a conhecer de que forma esta auxilia no planeamento estético do sorriso.
C	Comparação entre os diferentes métodos utilizados no planeamento digital do sorriso.
O	A IA tem diversas aplicabilidades em Reabilitação Oral, dando-nos uma vasta escolha de ferramentas para efetuar um planeamento digital do sorriso, oferecendo melhores resultados clínicos e mostrando ser uma mais-valia atualmente.

3.2. Metodologia de pesquisa bibliográfica

Para a fundamentação teórica desta revisão sistemática integrativa, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para a recolha de artigos científicos na base de dados PubMed no modo de pesquisa avançada com as palavras-chave: “Artificial Intelligence”, “Dentistry”, “Oral Rehabilitation”, “Intraoral Scanner”, “Digital Planning” e “Virtual Smile Drawing”, tendo sido incluídos artigos de 2012 a 2023 (Tabela 2).

Tabela 2 - Estratégias de pesquisa e bases de dados utilizados.

Base de dados:	Estratégia de pesquisa:	Artigos identificados:
PubMed	(Artificial intelligence) AND (Oral Rehabilitation) AND (virtual smile drawing) OR (digital planning)	252
PubMed	(Artificial intelligence) AND (Oral Rehabilitation) OR (intraoral scanner) AND (Digital Planning) OR (Virtual smile drawing)	34
PubMed	(Artificial Intelligence) AND (dentistry) AND (Oral Rehabilitation)	21

3.3. Critérios de inclusão

- Artigos nos quais se verificasse a presença das palavras-chave ou algum tipo de associação com as mesmas;
- Artigos com o resumo considerado interessante para a fundamentação teórica deste trabalho;
- Artigos que fornecem dados interessantes para o desenvolvimento desta revisão sistemática;
- Artigos publicados entre os anos 2012 e 2023;
- Estudos in vitro, revisões sistemáticas e ensaios clínicos randomizados.

3.4. Critérios de exclusão

- Artigos que não cumpriram com os critérios de inclusão;
- Artigos que após efetuar uma análise mais detalhada, não se mostraram relevantes para o desenvolvimento desta revisão;
- Título ou resumo que não estavam de acordo com o tema selecionado;
- Estudos em animais;
- Artigos não gratuitos.

3.5. Seleção de artigos

Etapa 1:

A seleção de artigos para a presente revisão sistemática, foi realizada através da utilização do motor de busca PubMed, onde foi utilizada uma pesquisa avançada com as seguintes palavras-chave: "Artificial Intelligence", "Dentistry", "Oral Rehabilitation", "Intraoral Scanner", "Digital Planning" e "Virtual Smile Drawing". Foram utilizados os filtros: "Free full text" e o intervalo de tempo do ano 2012 a 2023.

Etapa 2:

Os artigos foram selecionados após a leitura do título e do resumo para verificar se os artigos atendiam ao objetivo pretendido do presente trabalho. Os artigos que não estavam relacionados com o tema foram excluídos.

Etapa 3:

Os artigos selecionados foram lidos de forma completa e os que respondiam ao objetivo deste trabalho e satisfaziam os critérios de inclusão e exclusão, foram incluídos nesta revisão sistemática.

4. Resultados

Da pesquisa bibliográfica realizada na base de dados PubMed, excluindo todos os artigos publicados antes de 2012 e todos os artigos pagos, obteve-se um resultado de 307 artigos. Foram excluídos 176 artigos por não oferecerem dados abrangentes tendo em conta o objetivo do presente trabalho. 131 artigos foram selecionados para análise dos títulos e resumos. Dos 131 artigos analisados, 77 foram rejeitados por não cederem informação relevante. 54 artigos foram lidos na íntegra e avaliados quanto aos critérios de elegibilidade, dos quais 13 foram excluídos por não atenderem aos critérios de inclusão. Assim, foram incluídos nesta revisão sistemática 41 artigos (Figura 1).

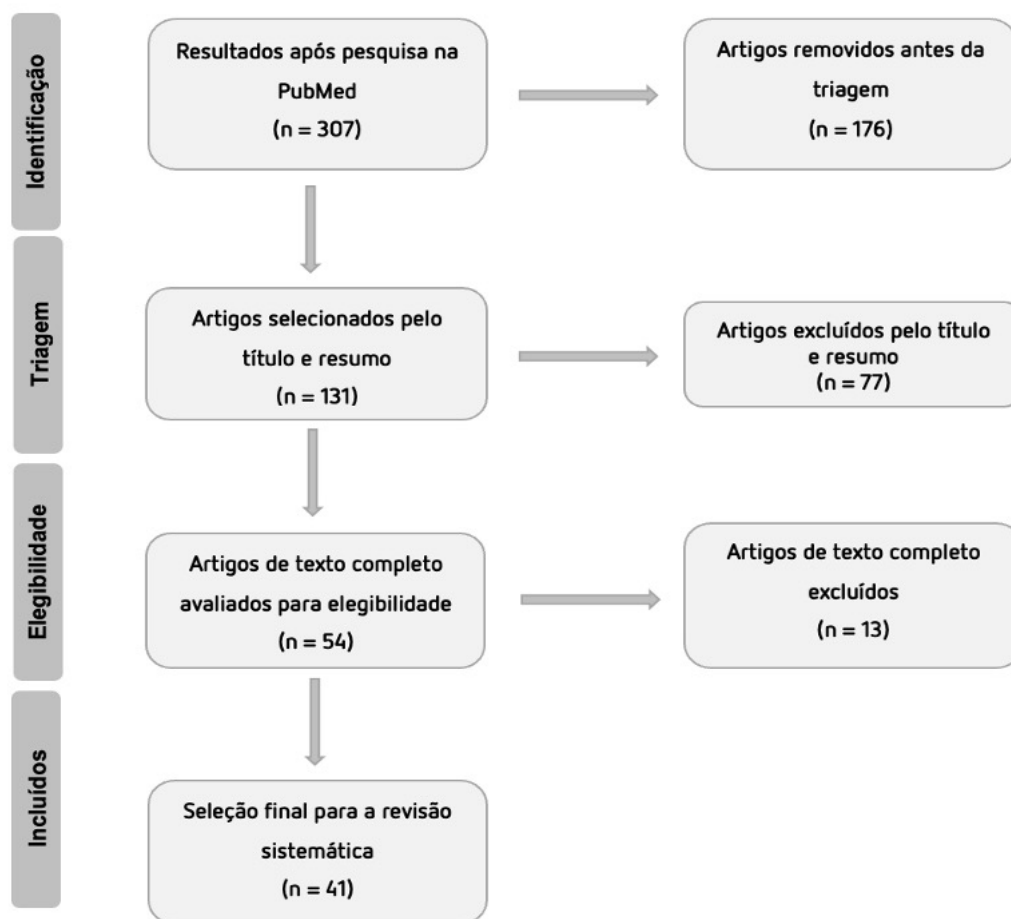


Figura 1 - Fluxograma PRISMA.

Na tabela 3, encontram-se os resultados desta revisão sistemática sobre a IA na reabilitação oral, onde são indicados os títulos dos artigos, autores, ano de publicação, o objetivo, a amostra, os resultados e conclusão dos artigos selecionados.

Tabela 3 - Resultados dos artigos selecionados:

Título do artigo, Autores, Ano de publicação	Objetivo	Amostra Participantes	Resultados	Conclusão
<i>The Effect of Perioral Scan and Artificial Skin Markers on the Accuracy of Virtual Dentofacial Integration: Stereophotogrammetry Versus Smartphone Three-Dimensional Face-Scanning.</i> <i>Mai, H.-N., & Lee, D.-H.</i> 2020 (13)	Avaliar a precisão da integração dentofacial, utilizando sistemas de estereofotogrametria e sistemas de scaneamento facial com smartphone.	- 1 voluntário com dentição anterior completa, onde foram incluídas apenas imagens de dentes (TO), área perioral sem marcadores (PN) e com marcadores (PM). - Comparação entre o sistema estereofotogramétrico e o sistema de digitalização facial com smartphone para avaliar a integração da imagem dentofacial, (desvios da linha média e linha incisal).	- Desvio da linha média menor com método PM e PN sem diferença entre sistemas; - Desvio da linha média menor no TO com estereofotogrametria; - Desvio angular da linha incisal menor com estereofotogrametria do que com smartphone com PN e TO; - Com PM menor desvio com smartphone.	Foi possível concluir que de maneira geral, a digitalização com o sistema de estereofotogrametria apresentou maior precisão de integração dentofacial virtual do que quando utilizado o smartphone. No entanto, as diferenças entre eles foram pouco significativas.
<i>Artificial intelligence in fixed implant prosthodontics: a retrospective study of 106 implant-supported monolithic zirconia crowns inserted in</i>	Apresentar um protocolo que use a IA para fabricar coroas de zircônia monolíticas suportadas por implantes (MZCs).	- 90 pacientes sem implantes, que foram posteriormente restaurados com MZCs desenhadas no CAD, na zona posterior da maxila e mandíbula (pré-molares e molares) num fluxo totalmente digital.	- O fechamento e a adaptação marginal dos MZCs foram excelentes, bem como os contatos interproximais. Apenas houve 1,8% de incidência de complicações em ambos os parâmetros. - A qualidade dos contatos oclusais foi	A IA demonstrou ser confiável no protocolo de trabalho totalmente digital, permitindo uma restauração bem-sucedida de implantes com MZCs.

<p><i>the posterior jaws of 90 patients.</i></p> <p>Lerner, H., Mouhyi, J., Admakin, O., & Mangano, F.</p> <p>2020</p> <p>(7)</p>			<p>muito boa, havendo apenas 6 casos com pré-contactos (5) ou ausência de contato (1).</p> <p>-A sobrevivência de 3 anos e o sucesso dos MZCs foram de 99% e 91,3%, respetivamente.</p>	
<p><i>Diagnosis of Tooth Prognosis Using Artificial Intelligence.</i></p> <p>Lee, S. J., Chung, D., Asano, A., Sasaki, D., Maeno, M., Ishida, Y., Kobayashi, T., Kuwajima, Y., da Silva, J. D., & Nagai, S.</p> <p>2022</p> <p>(25)</p>	<p>Desenvolver um sistema integrado e abrangente baseado em IA para um plano de tratamento e criar um módulo eficaz baseado na IA que permita uma decisão clínica precisa através de um prognóstico dentário.</p>	<p>- Foram avaliados prognósticos dentários de 2359 dentes de 94 pacientes pelos grupos: Modelo-A com 16 examinadores experientes, Modelo-B com 13 examinadores experientes, onde ambos contém o ML baseado em IA.</p>	<p>O Modelo-A mostrou ser mais preciso e previsível do que os restantes. Isto significa que a precisão gerada pelo ML é dependente do tipo e qualidade de dados dos examinadores (médicos dentistas) experientes para um resultado mais preciso.</p>	<p>Concluiu-se que o ML baseado na IA será uma ferramenta útil para determinar o prognóstico dentário com base no plano de tratamento proposto.</p>
<p><i>Clinically applicable artificial intelligence system for dental diagnosis with CBCT.</i></p> <p>Ezhov, M., Gusarev, M., Golitsyna, M., Yates, J. M., Kushnerev, E., Tamimi, D.,</p>	<p>Foi avaliado o desempenho clínico e precisão de um novo sistema de IA, baseado em DL (Diagnocat) para auxiliar os médicos dentistas no diagnóstico através da imagem do CBCT.</p>	<p>- Foram usados 1346 exames de CBCT para testar a localização, numeração de dentes, periodontite, cáries e lesão periapical.</p> <p>- O sistema de IA foi testado para os recursos de diagnóstico com o sistema Diagnocat.</p>	<p>- Os valores de sensibilidade no grupo sem auxílio do Diagnocat foram menores em comparação com os valores no grupo que utilizou o Diagnocat.</p>	<p>Concluiu-se que o sistema de IA proposto, melhorou de forma significativa a sensibilidade e capacidade de diagnóstico de patologias dentárias dos dentistas.</p>

<p><i>Aksoy, S., Shumilov, E., Sanders, A., & Orhan, K.</i></p> <p>2021</p> <p>(30)</p>		<p>- 2 grupos de dentistas avaliaram 30 exames de CBCT: 1 grupo foi auxiliado por Diagnocat e o outro sem auxílio.</p>		
<p><i>In Vivo Complete-Arch Implant Digital Impressions: Comparison of the Precision of Three Optical Impression Systems.</i></p> <p><i>Orejas-Perez, J., Gimenez-Gonzalez, B., Ortiz-Collado, I., Thuissard, I. J., & Santamaria-Laorden, A.</i></p> <p>2022</p> <p>(34)</p>	<p>Analisar a precisão de 3 scanners intraorais: PIC dental, TRIOS 3 (3Shape) e True Definition (Midmark Corporation) e perceber a influência de diversos fatores nas arcadas edêntulas.</p>	<p>- 1 paciente edêntulo total com 8 implantes em cada arcada;</p> <p>- 5 impressões foram feitas por arco, sendo projetadas 30 supraestruturas digitais</p> <p>- Foram analisadas as distâncias e angulações.</p>	<p>Tanto para as distâncias entre pilares, como para as angulações, com o TD, houve um aumento do erro enquanto a distância entre os pilares aumentava. Com o T, o desempenho foi pior no arco mandibular do que no maxilar. Enquanto o sistema PIC não foi afetado pelo aumento das distâncias entre os implantes.</p>	<p>Com base nos resultados, foi possível concluir que a precisão dos sistemas T e TD diminuiu quando a distância entre os implantes aumentou, enquanto com o PIC obteve-se resultados satisfatórios. Sendo este o que apresenta melhor precisão na impressão de implantes na arcada completa.</p>
<p><i>Photogrammetric and Intraoral Digital Impression Technique for the Rehabilitation of Multiple Unfavorably Positioned</i></p>	<p>Retratar o uso do sistema fotogramétrico e do scanner intraoral como uma técnica fidedigna para registrar a posição de implantes 3D de uma prótese fixa suportada</p>	<p>- 1 paciente edêntulo total com prótese fixa de resina metálica maxilar suportada por 6 implantes que pretendia uma nova reabilitação.</p>	<p>- Foram inseridos mais 2 implantes na região posterior, onde a sua posição foi capturada com a técnica de fotogrametria (câmera PIC).</p> <p>- As informações sobre tecidos moles foram obtidas com um IOS.</p> <p>- O técnico produziu uma prótese em</p>	<p>No acompanhamento de 1 ano, não foram observadas complicações. Assim, este caso sugere que o sistema de fotogrametria (PIC), permite aos médicos obter a posição exata e precisa dos implantes dentários, o que facilita a</p>

<p><i>Dental Implants: A Clinical Report.</i></p> <p>Molinero-Mourelle, P., Lam, W., Cascos-Sánchez, R., Azevedo, L., & Gómez-Polo, M.</p> <p>2019 (35)</p>	<p>por implantes na arcada superior completa.</p>		<p>cerâmica feldspática no Exocad.</p> <p>- Paciente foi acompanhada em 1 semana; 1, 3 e 6 meses e 1 ano após a inserção da prótese definitiva.</p>	<p>fabricação de próteses fixas suportadas por implantes. Além disso, demonstrou ser uma técnica mais confortável para os pacientes.</p>
<p><i>Comprehensive digital approach with the Digital Smile System: A clinical report</i></p> <p>Sanchez-Lara, A., Chochlidakis, K. M., Lampraki, E., Molinelli, R., Molinelli, F., & Ercoli, C.</p> <p>2019. (37)</p>	<p>Demonstrar a abordagem de um fluxo de trabalho digital com o Digital Smile System (DSS) num paciente para o qual foram fabricadas 6 facetas de cerâmica para a zona anterior da maxila.</p>	<p>- 1 paciente com hábitos parafuncionais, por isso, com alguma atrição nos dentes anteriores, causando sorriso reverso.</p> <p>- Pretende colocar facetas de cerâmica nos 6 dentes anteriores da maxila.</p>	<p>Foram feitas 2 fotografias extraorais com óculos especiais que permitiram ao software DSS sobrepôr as 2 automaticamente, para realizar a análise do sorriso e o desenho digital das facetas. Foi usado um IOS em ambas as arcadas. Os arquivos do sistema 2D e do IOS foram combinados e carregados para o CAD/CAM para efetuar o desenho 3D e fabricação das facetas.</p>	<p>Com um fluxo de trabalho totalmente digital (DSS), o clínico, paciente e técnico de prótese dentária, conseguem ter uma melhor comunicação e melhor previsão do resultado, além de menor tempo de trabalho.</p>
<p><i>The step further smiles virtual planning: milled versus prototyped mock-ups for the</i></p>	<p>Avaliar a fidelidade de maquetes obtidas com fresadoras e impressoras 3D num fluxo de trabalho</p>	<p>- 10 indivíduos incluídos para o desenho digital do sorriso da região anterior da maxila.</p> <p>- Foram produzidas 10 maquetes</p>	<p>- Houve uma maior % de correspondência entre o projeto 3D proposto e as maquetes fresadas do que o projeto 3D e as maquetes impressas.</p>	<p>Ambas as maquetes mostraram um pequeno incremento dimensional em comparação com o projeto 3D original. Por isso, deve-se ter</p>

<p><i>evaluation of the designed smile characteristics.</i></p> <p><i>Lo Giudice, A., Ortensi, L., Farronato, M., Lucchese, A., lo Castro, E., & Isola, G.</i></p> <p>2020.</p> <p>(17)</p>	<p>totalmente digital e comparar as mesmas.</p>	<p>fresadas e 10 maquetes impressas e comparadas as características de ambas através de medições específicas.</p>	<p>- As maquetes impressas demonstraram 1 incremento significativo de medições lineares transversais em comparação com o projeto 3D e as fresadas 1 incremento significativo de todas as medições verticais e transversais.</p> <p>- As maquetes impressas mostraram bom ajuste após testes clínicos, enquanto as fresadas não.</p>	<p>cuidado ao avaliar a fidelidade das maquetes digitalizadas, pois ao mínimo erro na computação do algoritmo, as dimensões do objeto 3D podem ser modificadas.</p>
<p><i>Morphology and mechanical performance of dental crown designed by 3D-GAN.</i></p> <p><i>Ding, H., Cui, Z., Maghami, E., Chen, Y., Matinlinna, J. P., Pow, E. H. N., Fok, A. S. L., Burrow, M. F., Wang, W., & Tsoi, J. K. H.</i></p> <p>2023.</p> <p>(6)</p>	<p>Avaliar o desempenho do algoritmo de IA 3D para desenhar uma coroa dentária.</p>	<p>- 600 moldes digitais com 2º pré-molares mandibulares e dentes adjacentes e antagonistas.</p> <p>- 2º pré-molares naturais foram comparados com os projetos realizados no GAN 3D, com o CEREC Biogenérico e com o CAD.</p>	<p>- O desenho com GAN 3D teve um maior grau de semelhança com a morfologia do dente natural.</p> <p>- CEREC biogenérico teve um ângulo da cúspide maior do que o desenho GAN 3D e o dente natural.</p> <p>- Nenhuma diferença observada no n° e na área oclusal dos 4 grupos.</p>	<p>Com este estudo, é perceptível que o GAN 3D pode ser usado para o desenho de coroas dentárias com elevada precisão, conseguindo atingir a morfologia e biomecânica dos dentes naturais.</p>
<p><i>Accuracy of artificial intelligence-designed single-</i></p>	<p>Avaliar a precisão de um novo sistema de IA no desenho e confecção de</p>	<p>- 169 modelos maxilares foram digitalizados, duplicados e processados com a remoção do dente</p>	<p>- A diferença entre a morfologia dos dentes projetados por IA e os naturais é mínima.</p>	<p>Este estudo provou que sistema GAN 3D é capaz de projetar uma coroa dentária única funcional com</p>

<p><i>molar dental prostheses: A feasibility study</i></p> <p><i>Chau, R. C. W., Hsung, R. T.-C., McGrath, C., Pow, E. H. N., & Lam, W. Y. H.</i></p> <p>2023.</p> <p><i>(41)</i></p>	<p>próteses dentárias de coroa de molar única e compará-las com os dentes naturais.</p>	<p>16.</p> <p>- Total de 159 modelos originais e processados foram inseridos no GAN 3D para treinar, sendo validados 10 moldelos e gerados por IA 10 dentes.</p>	<p>- A precisão dos dentes projetados por IA é aceitável, apenas existiam pequenas diferenças.</p>	<p>precisão e morfologia idêntica à do dente natural.</p>
--	---	--	--	---

5. Discussão

5.1. IA em Reabilitação Oral

A Inteligência Artificial é uma tecnologia de programação que permite ao computador aprender com a experiência. Os seus algoritmos aprendem a ver, processar e entender o mundo da mesma forma que o ser humano, sendo capazes de resolver problemas, normalmente associados às capacidades cognitivas do mesmo. Para isso, os algoritmos de ML precisam ser treinados com grandes bases de dados, de forma a obter mais experiência e minimizar os erros de previsão do resultado.²⁰

A IA, está fortemente implantada na vida quotidiana sob diversas formas, através da realização de atividades complexas, como a condução de carros, para garantir mais segurança durante a condução, o reconhecimento de rostos, a tradução de idiomas e a mais recente tecnologia, o ChatGPT. Isto contribuiu para que seja cada vez mais notória, a confiança que as pessoas depositam na tecnologia, nos dados e na precisão que ela nos oferece.^{13,21}

Na medicina dentária, a IA está a progredir visivelmente, permitindo ajudar os médicos dentistas a obter a confiança necessária por parte dos pacientes, através dos programas de apoio às decisões clínicas.^{20,22}

A IA pode ajudar no gerenciamento de pacientes, através de “assistentes virtuais inteligentes”, capazes de organizar arquivos dos pacientes e de realizar tarefas, como agendamento de consultas. Pode ajudar no acompanhamento do paciente em casa, através de escovas dentárias conectadas ao smartphone, com sensores intraorais, que recolhem dados sobre a força de escovagem e movimentos da mandíbula. É por meio desta tecnologia, que conseguimos também diagnósticos precoces e mais precisos, podendo adequar o tipo de prótese ou tratamento necessário a cada paciente. Os algoritmos da IA podem vincular o diagnóstico de um paciente às opções de tratamento disponíveis e assim, identificar e sugerir o plano de tratamento específico para cada paciente.^{21,2,23}

A IA apresenta uma elevada capacidade de reconhecimento e processamento de dados importantes como anamnese, radiografias, fotografias intraorais e extraorais do paciente, e, desta forma, auxilia o médico dentista na precisão do planeamento. O desenvolvimento da IA contribui para menos complicações pós-operatórias, maior qualidade de via, melhor tomada de decisão e menos procedimentos desnecessários.^{2,20}

O uso da IA para o desenho e confecção de próteses, foi também um grande avanço. Através do CAD/CAM conseguimos obter coroas, pontes, overlays, ou qualquer tipo de prótese, de forma mais precisa, através de processos como a fresagem ou impressão 3D. Tendo, assim, a IA substituído em grande parte o método convencional, reduzindo os erros e o tempo de trabalho.²³ Como complemento, a IA aplicada ao CAD/CAM permite ainda automatizar o desenho de coroas dentárias sobre dente ou sobre implante, depois de perceber as características dos dentes remanescentes, através do sistema Generative Adversarial Network 3D (GAN) ou da plataforma Pearl.^{7,24} Neste contexto, iremos aprofundar que a IA está integrada em praticamente todos os mecanismos da Reabilitação Oral, como classificação de imagens radiográficas, processamento de dados dos scanners, desenho e fabricação da prótese através do CAD/CAM, entre outros, contribuindo para melhorar a precisão, eficiência e os resultados do planeamento digital do sorriso e da confecção da prótese.^{20,21}

5.2. Planeamento digital do sorriso

Cada paciente precisa de um atendimento personalizado, pois o tratamento é individual e específico para cada um. O plano de tratamento em reabilitação oral tem por objetivo perceber a queixa principal e restabelecer a saúde oral do paciente. O planeamento ideal deve ser baseado num diagnóstico preciso e na avaliação do prognóstico. O prognóstico é determinado pelo conhecimento, experiência clínica e pelas características do paciente.²⁵

A tecnologia tem contribuído imenso nos avanços da área dentária, principalmente na reabilitação oral. Os sistemas de IA permitem um fluxo de trabalho totalmente digital, no qual, toda a informação tradicional analógica, é substituída pela digitalização, e é criado um paciente virtual que auxilia todo o processo reabilitador do sorriso.^{23,26}

Os programas digitais que a utilizam, ajudam a que seja feita uma análise das fotografias faciais e intraorais do paciente, permitindo analisar mais detalhadamente a anatomia de cada um, respeitando as suas características, de forma a responder às suas necessidades estéticas e funcionais. Possibilitam ainda a uma simulação do resultado final muito mais realista, o que torna a comunicação com o paciente mais fácil, aumentando assim a taxa de aceitação do tratamento por parte do mesmo.^{15,27,28}

Outro dos benefícios do fluxo digital, é a possibilidade de toda a informação do paciente ficar armazenada, em conformidade com as leis de privacidade, o que permite que todos os elementos da equipa tenham acesso, podendo modificar o projeto sempre que necessário.^{16,26}

5.3. Sistemas de Diagnóstico que usam IA

5.3.1. Exames radiográficos

O diagnóstico e o tratamento progrediram de forma drástica com a evolução da radiologia.²⁹ O exame radiográfico é essencial num planeamento e é frequentemente usado para auxiliar o diagnóstico clínico.³⁰

A IA tem se mostrado especialmente eficaz na radiologia, devido aos NN treinados, conseguirem avaliar milhões de imagens em questão de minutos. Existem aplicações que ao utilizarem IA, na análise de radiografias periapicais ou ortopantomografias, conseguem detetar e numerar dentes de forma a preencher odontogramas automaticamente.^{20,30,31}

Outras aplicações, como o Pearl, têm a capacidade de detetar sinais de várias patologias dentárias e outras condições na análise de radiografias, como cáries dentárias, radiolucências periapicais ou perda óssea, sendo um apoio extra para os médicos dentistas, que garante que nenhum problema comum seja mal diagnosticado.³²

No entanto, devido às limitações das radiografias bidimensionais (2D), como ampliação, distorção e sobreposição, a imagem tridimensional (3D) tem vindo a evoluir para atender às exigências das novas tecnologias na realização do plano de tratamento. Desta forma, foi desenvolvido como técnica de imagem 3D, o CBCT, para detetar com precisão diversos tipos de lesões.^{20,31}

O CBCT possui um tubo que contém um circuito elétrico com dois elétrodos de cargas opostas, onde são gerados os raios x. Ele usa o feixe cónico de raio x e um scanner que gira 180° - 360° em torno da cabeça do paciente em questão de segundos.³¹

Se houver possibilidade de realizar um CBCT na primeira consulta, iremos conseguir uma avaliação precisa das estruturas, incluindo a ATM e vias aéreas, assim como da análise facial.²⁶

A abordagem da IA na radiologia, principalmente no CBCT, está a mudar o diagnóstico em medicina dentária, pois permite detetar patologias, como nódulos anormais, na imagem da cabeça e pescoço, através do ML.²⁹

Portanto, a IA na radiologia, é uma ferramenta que auxilia os médicos dentistas a realizar uma parte do seu trabalho, de forma mais rápida e precisa. Pode ser apresentada a imagem radiográfica ao paciente, onde os resultados e problemas dentários ficam marcados a cor, o que facilita a comunicação com o paciente. Assim, o médico dentista pode apresentar o tipo de tratamento possível para cada dente.



Figura 2- Imagem do CBCT.

5.3.2. O Pearl

O Pearl, é uma plataforma com IA, que usa um software de visão por computador, onde fornece ao dentista os dados detalhados do paciente, dando auxílio no diagnóstico. Assim, possibilita aos profissionais gerirem os pacientes, tomarem as decisões corretas e elaborarem um plano de tratamento adequado.³²

O Pearl, possui o "Second Opinion", que é a primeira plataforma de IA capaz de detetar automaticamente diversos problemas dentários, nas radiografias. Os dentes são radiografados e os resultados são instantâneos. Esta plataforma, indica, através de diferentes cores legendadas, a existência de cáries, ausência de dentes, tratamentos endodônticos, restaurações mal feitas, radiolucências periapicais, cálculo dentário, perda óssea, coroas, implantes, entre outras.³²

Além de que facilita a leitura das radiografias e a comunicação com o paciente, fornece ao médico dentista uma confirmação e garantia de que são consideradas todas as condições dos pacientes, sendo possível um plano de tratamento mais preciso e adequado a cada paciente.³²

5.3.3. Scanner facial

Com o desenvolvimento do scanner facial, conseguimos uma digitalização da face em 3D instantaneamente, sendo possível planejar digitalmente o desenho protético do sorriso em harmonia com a aparência facial, sem a presença do paciente. Permite uma visão dinâmica do sorriso do paciente, sendo um excelente contributo na determinação da linha do sorriso e de diversas linhas estéticas. Por meio da IA, são utilizadas imagens 2D para gerar a digitalização do paciente em 3D.^{13,26,28}

Atualmente, os smartphones também possuem diversas aplicações, onde é possível a digitalização facial em 3D. No entanto, um estudo realizado por Mai e Lee, demonstrou que a digitalização facial com estereofotogrametria tem um maior grau de precisão do que a digitalização com smartphone, quando são utilizados dentes na correspondência.¹³

Durante a obtenção da imagem facial do paciente, com uma retração dos lábios e bochechas adequada, os dentes anteriores ficam expostos.²⁵ Esta área dos dentes visível, pode ser usada como referência para combinar, através da IA, a digitalização facial com a digitalização intraoral, e, assim, obter o paciente virtual. A integração dessas digitalizações com as restantes informações diagnósticas num programa de desenho, permite ao médico dentista e ao técnico alcançar uma previsão mais precisa do resultado final.¹³

Percebemos, então, que os scanners faciais têm vindo a ser inseridos no workflow digital como meio de diagnóstico, já que possibilitam ao clínico explicar ao paciente a sua condição e mostrar, através de um software, a previsão do resultado final. Além disso, também são um excelente meio de comunicação entre o médico dentista e o laboratório.²⁶

5.3.4. Scanner intraoral

Uma das aplicações da IA mais comum atualmente é a digitalização direta, ou seja, o uso de câmaras digitais para realizar impressões dentárias. Estes sistemas de impressão

digital, melhoraram substancialmente durante a última década e surgiram como alternativa às impressões convencionais, de forma a reduzir o desconforto dos pacientes, o tempo de trabalho e melhorar a comunicação com o técnico e com o paciente.^{18,33}

Neste processo é utilizado um IOS, que é um dispositivo que projeta luz (laser ou luz branca) no objeto a ser digitalizado, neste caso, a arcada dentária. A imagem dos dentes e tecidos gengivais capturada pelo IOS, é processada por um software de digitalização, que, através da IA, cria um modelo 3D a cores das arcadas, sendo esta a alternativa virtual, aos modelos de gesso tradicionais.^{18,33}

Assim, os IOS são utilizados como diagnóstico, já que permitem adquirir informação da preparação dentária e estruturas vizinhas e convertê-las em impressões digitais.¹⁸



Figura 3 - Imagem de um scanner intraoral da 3Shape.

5.3.4.1. *Precise Implants Capture (PIC)*

Alguns autores, consideram a precisão das impressões digitais clinicamente satisfatória.¹⁸ No entanto, a maioria da literatura concorda que para realizar impressões de implantes na arcada completa, as impressões convencionais são superiores às digitais, devido à falta de precisão.³⁴

Assim, foi desenvolvido o sistema Precise Implants Capture (PIC), um scanner bastante preciso, baseado em estereofotogrametria, projetado especificamente para realizar a impressão de vários implantes na arcada dentária.³⁴

O PIC permite ao médico dentista obter a posição exata dos implantes dentários, através da visão panorâmica dos implantes na arcada. Os PIC Transfers (sinalizadores em forma de bandeira), são aparafusados nos implantes e a posição deles é registada através

da câmera PIC. Com base nesses sinalizadores e através da IA, é gerado um modelo digital com a posição 3D e a angulação dos implantes em um arquivo STL. A presença de sangue e saliva não afeta a precisão da câmera PIC. No entanto, é necessária uma segunda impressão com um IOS, onde os PIC Transfers são substituídos por pilares, para capturar os tecidos moles peri-implantares do paciente, já que a câmera PIC não efetua o registo de tecidos.³⁵

Este sistema, liga-se de imediato a todas as ferramentas CAD/CAM, a serem utilizadas em laboratório, permitindo ao técnico de prótese efetuar um trabalho mais preciso.³⁴

O sistema PIC, provou aumentar a produtividade, ao permitir que os dentistas finalizem os casos em menos tempo e melhorem a qualidade das suas restaurações protéticas.^{34,35}



Figura 4 - Imagem A: Sistema Precise Implants Capture. Imagem B: Câmera PIC. Imagem C: PIC Transfers. Imagem D: PIC Transfers aparafusados em 4 implantes.

5.4. Sistemas de Prognóstico que usam IA

5.4.1. Unidades de digitalização – Scanners

Atualmente, a digitalização realizada com scanners pode ser feita de forma direta ou indireta. Nesta última, são utilizados scanners indiretos (scanners de bancada) em laboratório, que permitem o uso da IA, mesmo sendo utilizadas impressões analógicas

convencionais, pois estes digitalizam o modelo físico de gesso e transformam-no num modelo digital, tornando-o adequado para o planeamento, desenho e fabricação digital da prótese.³³

Como referido anteriormente no sistema de diagnóstico, a digitalização direta, é realizada com os IOS. Assim, além dos IOS serem utilizados no processo de diagnóstico, também auxiliam no prognóstico.³³

Os IOS são usados em impressões de preparos dentários para inlays/onlays e próteses fixas parciais ou totais sobre dentes, mas também podem ser utilizados na reabilitação sobre implantes, permitindo inclusive o scaneamento dos scanbodies diretamente em boca. É através destas peças que é possível obter as coordenadas digitais da posição dos implantes dentários em boca, dando-nos o prognóstico da reabilitação e possibilitando proceder à fabricação de próteses implanto-suportadas.¹⁸

Nas clínicas que já possuem equipamento para fabricar restaurações protéticas, os ficheiros STL digitalizados pelos IOS, podem ser importados para o CAD e assim que concluído o projeto do desenho, os ficheiros podem ser transferidos para um software de fabricação assistida por computador (CAM) e serem colocados na fresadora ou impressora.¹⁸



Figura 5 - Imagem de um modelo de gesso sendo digitalizada num scanner de bancada.

5.4.2. Digital Smile Design

Quando um paciente deseja alcançar um resultado estético, mas fica cético em relação ao procedimento, por não conseguir visualizar o resultado, podemos utilizar o DSD®.³⁶

O DSD®, foi introduzido pela primeira vez em 2012 e é uma ferramenta multiuso projetada para fortalecer o diagnóstico, melhorar a comunicação com a equipa e com o paciente e aumentar a previsibilidade do tratamento. Ele contribui para uma melhor estética dentária, como também promove a funcionalidade das arcadas.^{16,27}

Este sistema, envolve a participação do paciente no processo do desenho do sorriso e permite uma simulação e pré-visualização do resultado do tratamento proposto, o que aumenta a aceitação do caso, por parte do mesmo. O DSD® permite o desenho estético, devido há possibilidade de análise das linhas de referência através das fotografias intra e extraorais.³⁶

Existem vários softwares de DSD®, onde os parâmetros estéticos variam, porém, o procedimento básico é semelhante nas várias opções.³⁶

Para utilizar o DSD®, são necessárias três fotografias: uma da face completa com um sorriso largo, uma da face inteira em repouso e uma com afastadores de bochechas. Também é recomendado realizar um pequeno vídeo, de forma a capturar todas as posições dentárias.¹⁶

Através destas fotografias e vídeos, o médico dentista consegue fazer uma análise facial, dentária e gengival, tendo acesso às linhas médias facial e dentária, posição incisal, dinâmica labial e disposição dentária. Assim, com o DSD®, é possível, fazer medições, desenho de linhas de referência e formas, até chegar ao sorriso ideal para cada paciente.^{16,36}

5.4.3. Enceramento de diagnóstico / Mock-up

Para o planeamento de um sorriso harmonioso, é imprescindível o enceramento de diagnóstico, que serve como forma de mostrar ao paciente as modificações que poderão ser realizadas e como guia para a confecção da prótese.¹⁵

Assim que o paciente aceite o projeto 2D realizado no DSD®, é possível, através da IA, a fusão desse mesmo projeto com o scaneamento intraoral e facial, criando, assim, um paciente virtual 3D. Portanto, para o procedimento do enceramento de diagnóstico digital, é necessário o arquivo STL da digitalização do paciente em 3D, feita com o scanner.^{28,37}

Desta forma, o médico dentista ou o técnico de prótese, podem selecionar ferramentas de desenho para elaborar, no paciente virtual, o enceramento de diagnóstico. Podem ser utilizadas guias de proporção e modelos de dentes com diversos formatos, que com a IA integrada, adequa a cada paciente a forma dentária mais apropriada. Isto permite fazer uma montagem de dentes aditiva, ao criar um enceramento de diagnóstico digital e dar, assim, uma melhor visualização do resultado.^{15,27}

Após este planeamento estético, através do enceramento de diagnóstico, é feito um mock-up, um modelo físico impresso em resina criado pelo sistema CAD/CAM que junta o enceramento de diagnóstico à impressão da boca do paciente. Este mock-up pode ser usado diretamente em boca através de uma chave em silicone feita ao modelo e posteriormente colocada na cavidade oral com acrílico no seu interior. Desta forma o prognóstico será reproduzido fisicamente na cavidade oral do paciente para que o paciente possa avaliar a estética e consentir com o tratamento proposto.^{15,27}

Este modelo digital, não é frágil e pode ser facilmente recuperado e compartilhado, contrariamente aos modelos de gesso. No entanto, o enceramento de diagnóstico é criado sobre o sorriso do paciente, sobre os dentes existentes, sendo, por isso, um mock-up aditivo. Assim, em boca, este pode parecer ligeiramente volumoso. Portanto, é importante informar o paciente dessa diferença entre o mock-up e a restauração final.⁹ Após ser aceite o mock-up de diagnóstico, os pacientes devem assinar um consentimento para ser iniciado o plano de tratamento.¹⁵



Figura 6 - Imagem de um enceramento de diagnóstico digital.

5.5. Sistemas de confecção que usam IA

5.5.1. CAD/CAM: Princípios e fundamentos

O uso de tecnologia auxiliada por computador para a confecção de uma prótese dentária precisa, é mais um grande avanço da IA na reabilitação oral.⁹ Com o projeto de desenho assistido por computador (CAD) e a fabricação assistida por computador (CAM), o mapeamento e produção de peças dentárias, como próteses individuais, parciais ou totais tornaram-se mais precisos e diminuíram o tempo necessário.^{2,21}

O CAD/CAM, é um conjunto de tecnologias coordenadas que permitem a aquisição digital dos dados do paciente, o desenho de próteses sobre dente ou sobre implantes à medida e a sua posterior fabricação.²

O CAD, é utilizado para criar um modelo do desenho da peça dentária com elevada precisão. Esse modelo é mantido no computador como uma representação 3D da(s) peça(s) dentária(s), permitindo ser facilmente alterado. Já o CAM, é o sistema que utiliza a fresagem para fabricar automaticamente o projeto criado no CAD.²

Em clínicas dentárias equipadas para desenhar e fabricar restaurações protéticas em consultório, é possível importar os arquivos capturados com o IOS para o software CAD, e, assim que concluído o projeto, este é transferido para o CAM e colocado na fresadora ou impressora 3D.¹⁸

Este sistema, permite a projeção de próteses dentárias personalizadas para atender às necessidades de cada paciente, tendo em consideração o formato, a cor e o tamanho.²¹ Além disso, foi comprovado que este método é fidedigno na produção de próteses dentárias em áreas estéticas, tendo sido considerado, através de um estudo, que os modelos fresados são mais resistentes do que os modelos obtidos através do procedimento manual.^{2,17}

Com esta abordagem, a fabricação de próteses tornou-se muito mais fácil. Substituiu o processo demorado da fundição manual e diminui a existência de erros no resultado final. A integração da IA na tecnologia CAD/CAM melhorou os resultados da prótese e simplificou o protocolo em laboratório e consultório.²

5.5.2. Software CAD

5.5.2.1. *Programas de desenho*

Para se desenvolver a arquitetura do sorriso em harmonia com a face, são utilizados diferentes programas de desenho, na fase CAD, que sugerem a posição 3D mais adequada dos dentes e gengivas.²⁸

Alguns desses programas são, Exocad® Dental CAD®, 3Shape® Smile Design, Dental Wings®, CEREC® ou CAD inLab®. Nestes, é possível abrir o arquivo STL onde se encontram as arcadas dentárias, digitalizadas com o IOS, bem como arquivos da face do paciente, seja através de uma simples fotografia, ou de uma digitalização da face com scanner facial.^{18,38}

Estes programas, possuem bibliotecas virtuais, onde existem diversas morfologias dentárias diferentes, categorizadas conforme o tamanho, idade e fenótipo do paciente.^{28,36}

Nestas ferramentas de software, podem ser também, usados como referência, dentes naturais, de maneira a serem geradas propostas de formas dentárias, com a intervenção da IA. À posteriori, essas formas podem ser modificadas e adaptadas às características do paciente e depois, selecionadas pela equipa restauradora. Além disso, os algoritmos de IA podem analisar os dados e propor ajustes no desenho para melhorar a estética, função e durabilidade das restaurações.³⁸

Isto permite ao técnico de prótese, diminuir o seu tempo de trabalho, já que todo o trabalho realizado manualmente, pela técnica convencional, é eliminado e permite que este se concentre apenas na adaptação das formas dentárias propostas pelo sistema, à morfologia dentária de cada paciente, de forma a obter o melhor resultado.³⁸

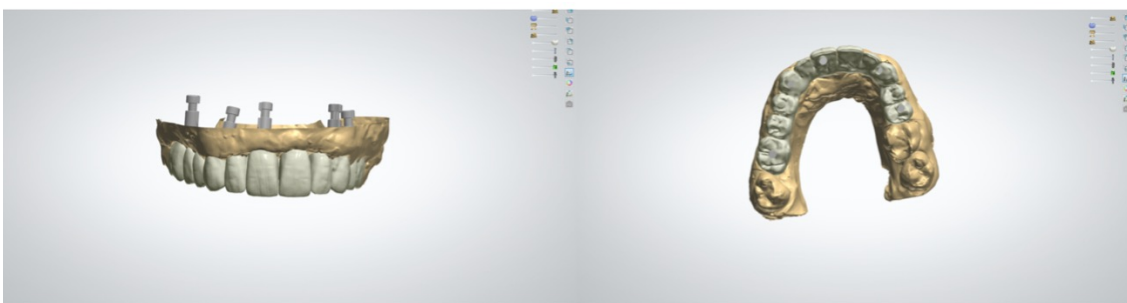


Figura 7 - Imagem de um modelo desenhado no CAD.

5.5.3. Software CAM

O software CAM corresponde ao fabrico da restauração protética. Os equipamentos usados no fabrico das próteses dentárias, usam arquivos STL gerados pelo software CAD. Esta maquinaria responsável pelo processo de confeção, pode funcionar por dois métodos: subtrativo (fresagem) ou aditivo (impressão 3D).³⁹

5.5.3.1. Fresagem

A fresagem controlada por computador, é a fase do CAM, em que o desenho virtual da restauração protética efetuado no software CAD, se torna físico, através da IA. O software CAM transfere automaticamente o projeto do CAD para uma fresadora. Esta técnica, permite obter modelos definitivos em zircónia, por exemplo, ou modelos provisórios em polimetilmetacrilato (PMMA). Podem ser fabricadas todo o tipo de próteses, fixa ou removível, ou qualquer tipo de estrutura de suporte, como barras ou pilares personalizados.¹⁸

Este processo de confeção da prótese é realizado a partir de um bloco pré-fabricado de um determinado material, selecionado pelo clínico ou pelo técnico de prótese, sendo, por isso, considerado um método subtrativo.^{18,40}

A fresagem é a técnica mais difundida da tecnologia subtrativa e é realizada através de fresadoras, que são classificadas de acordo com o número de eixos de fresagem. Quanto mais eixos de fresagem, mais precisa e detalhada poderá ser a restauração protética. Devido às variações anatómicas, a fresagem é realizada através de inúmeras brocas com tamanhos diferentes.⁴¹ Estas são usadas como ferramenta de corte de modo a eliminar material para obter a forma desejada da estrutura. Assim, a técnica inicia-se com um bloco de material e a máquina corta o que pretende eliminar.³⁹

No entanto, esta abordagem é criticada por apresentar uma elevada taxa de desperdício de material, falta de precisão, a incapacidade de criar estruturas que fiquem abaixo do diâmetro da broca de fresagem e a impossibilidade de produzir elevado número de estruturas, já que apenas pode ser fresada uma peça de cada vez.³⁹ Essas restrições podem ser superadas pelo método de fabricação aditiva.³⁹



Figura 8 - Imagem de duas fresadoras.

5.5.3.2. Impressão 3D

A impressão 3D, é uma tecnologia que se insere no método de fabricação aditivo e é o processo de unir materiais, de forma a criar objetos camada após camada, ao contrário da fabricação subtrativa.^{38,40}

Esta técnica funciona transferindo o arquivo 3D realizado no CAD e cria uma série de fatias transversais. Cada fatia é impressa uma sobre a outra, de forma a gerar o modelo 3D. Uma das grandes vantagens deste processo é o facto de não haver desperdício.³⁹

Este método aditivo inclui estereolitografia (SLA), projeção de luz digital (DLP), impressão por jato de tinta e sinterização direta de metal a laser (DLMS).⁴⁰

A técnica SLA é um método que consiste na polimerização camada por camada do material, através de um laser ultravioleta (UV). Esta, é frequentemente utilizada na fabricação de modelos dentários a partir de resinas líquidas, sensíveis aos raios UV. Já o DLP, que também utiliza laser UV, bem como luz visível para a polimerização, é usado para fabricar modelos dentários, estruturas de cera e restaurações provisórias de resinas visíveis, que são sensíveis à luz, cera e compósitos. Este é um método muito utilizado para fabricar PMMA. Depois de impresso o material, este é polimerizado com uma fonte de luz.³⁸⁻⁴⁰

Na técnica de impressão por jato, são utilizados jatos de tinta e pequenos porções de material de suporte, criando, assim, cada camada da peça. De seguida, cada camada é polimerizada usando uma lâmpada UV, fonte de luz ou aquecimento. Este método, é utilizado para fabricar modelos dentários, guias cirúrgicas, alinhadores, padrões de cera e estruturas de resina.⁴⁰

A técnica DLMS é baseada em pó, onde um feixe de luz laser de alta potência atinge esse pó, resultando na fusão e aglutinação das partículas do mesmo. Esta técnica é usada no fabrico de modelos dentários e guias cirúrgicas.⁴⁰

Com a impressão 3D podem ser obtidos materiais com propriedades mecânicas e visuais específicas e objetos com diferentes níveis de resistência ao calor, rigidez, cor, transparência ou textura de forma precisa e económica. Este método de produção ampliou o uso do CAM em medicina dentária.³⁸



Figura 9 - Imagem de impressora 3D.

5.5.4. O Pearl

Além de ser útil no processo de diagnóstico, como já foi referido anteriormente, o Pearl, possui também uma plataforma, a “Smart Margin”, que é capaz de auxiliar no desenho da prótese dentária.

Esta plataforma permite executar automaticamente a margem e o ponto de contacto entre o dente e a restauração, com elevada precisão.⁵³ Esta, consegue detetar a margem, mesmo que subgingival e possibilita a realização do desenho, com o uso da IA. Isto permite que o médico dentista se concentre na realização do preparo do dente e na manutenção dos contactos interproximais e que o técnico de prótese se foque na elaboração da restauração dentária perfeita.^{21,32}

5.5.5. Generative Adversarial Network 3D

É fundamental que o projeto de desenho se assemelhe aos dentes originais do paciente, para que este possa manter a sua aparência, função de mastigação e saúde oral.²⁴ E o uso de robôs com IA em medicina dentária, que podem automatizar as etapas do tratamento, tem se mostrado uma ferramenta com potencial e altamente confiável em vários processos.^{6,41}

Investigadores da faculdade de medicina dentária de Hong Kong, desenvolveram uma nova abordagem que utiliza IA para automatizar o desenho de uma prótese individual, de forma que o tratamento seja mais eficiente.²⁴

Esse estudo experimental, selecionou o GAN 3D, que apresenta um elevado desempenho na reconstrução de objetos 3D realistas. Este, mostrou-se capaz de produzir e automatizar o processo de desenho de próteses dentárias de coroa única com morfologia semelhante aos dentes naturais com elevada precisão.²⁴

Esta abordagem necessita apenas dos modelos digitais da dentição para funcionar, ou seja, que se utilize um scanner intraoral para digitalizar as arcadas dentárias, de modo que a IA aprenda as características dos dentes naturais e consiga gerar um dente falso que consiga manter a funcionalidade e não interfira nos movimentos da mandíbula.^{6,24}

Assim, a IA tem como referência a dentição natural, deteta todas as características dos dentes do indivíduo, e, a partir desses, gera uma prótese idêntica ao dente em falta. Assim, este método demonstrou-se menos demorado, preciso e com menos probabilidade de erros.

4, 24

5.6. Limitações da IA em Reabilitação Oral

A IA foi introduzida para ajudar a indústria a crescer, pois pode ser utilizada para executar tarefas em tempo reduzido de trabalho, pode auxiliar na sistematização de muitos procedimentos e na tomada de decisões, resultando num diagnóstico, prognóstico e plano de tratamento mais precisos.²

No entanto, existem algumas desvantagens na aplicação da IA na reabilitação oral, como a exigência de compra de equipamentos específicos, de softwares 3D e hardwares, bem como as suas atualizações que requerem um grande investimento.^{2,32} A necessidade de formação adequada da equipa, experiência, treino e manuseamento para determinados softwares e o fator financeiro são também alguns fatores limitantes associados à IA.^{36,37} As

questões éticas relativas ao uso de dados específicos do paciente e à responsabilidade do médico dentista quando a IA gera um erro num determinado caso, também necessitam ser avaliados criticamente.²¹

Além disso, a IA depende de grandes conjuntos de dados de treino para conseguir aprender e melhorar o seu desempenho, mas nem sempre é possível obter dados suficientes e com qualidade e numa situação de um caso clínico raro ou que não esteja devidamente treinado pela IA, esta pode não ter potencial para lidar com o mesmo. Assim, apesar da IA auxiliar no processo de planeamento digital do sorriso e sendo a reabilitação uma área que envolve interação entre o clínico e o paciente, a IA não pode substituir o médico dentista, o contato humano e empatia que lhe são necessários para proporcionar um tratamento dentário personalizado.^{2,21,37}

6. Conclusão

Na presente revisão sistemática integrativa, vários artigos relataram achados significativos sobre a Inteligência Artificial na Reabilitação Oral. As principais conclusões, dos estudos selecionados, são:

- A IA tem se revelado uma mais-valia no processo de planeamento do sorriso, já que auxilia o médico dentista e toda a equipa de reabilitação na tomada de decisões. As suas principais aplicações na reabilitação oral incluem o auxílio no diagnóstico, auxílio no planeamento estético do sorriso e suporte na tomada de decisões.
- Apesar da IA possuir inúmeras vantagens, como a precisão, eficácia e a possibilidade de adaptar o tratamento a cada paciente, também apresenta desvantagens, como o elevado custo de determinados equipamentos e softwares, a dependência de dados de treino, a exigência de formação e experiência adequada da equipa e algumas questões éticas. Assim sendo, o uso da inteligência artificial na reabilitação oral deve ser um complemento à experiência clínica.

7. Referências bibliográficas

1. Ossowska A, Kusiak A, Świetlik D. Artificial Intelligence in Dentistry—Narrative Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(6). doi:10.3390/ijerph19063449
2. Singi SR, Sathe S, Reche AR, Sibal A, Mantri N. Extended Arm of Precision in Prosthodontics: Artificial Intelligence. *Cureus*. Published online November 1, 2022. doi:10.7759/cureus.30962
3. Chen YW, Stanley K, Att W. Artificial intelligence in dentistry: current applications and future perspectives. *Quintessence Int*. 2020;51(3):248-257. doi:10.3290/j.qi.a43952
4. Ahmed N, Abbasi MS, Zuberi F, et al. Artificial Intelligence Techniques: Analysis, Application, and Outcome in Dentistry - A Systematic Review. *Biomed Res Int*. 2021;2021. doi:10.1155/2021/9751564
5. Hung K, Yeung AWK, Tanaka R, Bornstein MM. Current applications, opportunities, and limitations of AI for 3D imaging in dental research and practice. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(12):1-18. doi:10.3390/ijerph17124424
6. Ding H, Cui Z, Maghami E, et al. Morphology and mechanical performance of dental crown designed by 3D-DCGAN. *Dental Materials*. 2023;39(3):320-332. doi:10.1016/j.dental.2023.02.001
7. Lerner H, Mouhyi J, Admakin O, Mangano F. Artificial intelligence in fixed implant prosthodontics: A retrospective study of 106 implant-supported monolithic zirconia crowns inserted in the posterior jaws of 90 patients. *BMC Oral Health*. 2020;20(1). doi:10.1186/s12903-020-1062-4
8. Schwendicke F, Samek W, Krois J. Artificial Intelligence in Dentistry: Chances and Challenges. *J Dent Res*. 2020;99(7):769-774. doi:10.1177/0022034520915714
9. Tandon D, Rajawat J. Present and future of artificial intelligence in dentistry. *J Oral Biol Craniofac Res*. 2020;10(4):391-396. doi:10.1016/j.jobcr.2020.07.015
10. Fatima A, Shafi I, Afzal H, et al. Advancements in Dentistry with Artificial Intelligence: Current Clinical Applications and Future Perspectives. *Healthcare (Switzerland)*. 2022;10(11). doi:10.3390/healthcare10112188

11. Cervino G, Fiorillo L, Arzukanyan AV, Spagnuolo G, Cicciù M. Dental restorative digital workflow: Digital smile design from aesthetic to function. *Dent J (Basel)*. 2019;7(2). doi:10.3390/dj7020030
12. Marsango V, Bollero R, D'Ovidio N, Miranda M, Bollero P, Barlattani A Jr. Digital workflow. . *Oral Implantol (Rome)*. Published online 2014.
13. Mai HN, Lee DH. The effect of perioral scan and artificial skin markers on the accuracy of virtual dentofacial integration: Stereophotogrammetry versus smartphone three-dimensional face-scanning. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(1):1-12. doi:10.3390/ijerph18010229
14. Arcuri L, Lorenzi C, Cecchetti F, Germano F, Spuntarelli M, Barlattani A. Full digital workflow for implant-prosthetic rehabilitations: a case report. . *Oral Implantol (Rome)*. Published online 2016.
15. Agnini A, Odontoiatria SA, Apponi R, Maffei S, Agnini A. *Digital Dental Workflow for a Smile Makeover Restoration*. Vol 15.; 2020.
16. Thomas P, Krishnamoorthi D, Mohan J, Raju R, Rajajayam S, Venkatesan S. Digital smile design. *J Pharm Bioallied Sci*. 2022;14(5):43. doi:10.4103/jpbs.jpbs_164_22
17. Giudice A Lo, Ortensi L, Farronato M, Lucchese A, Castro E Lo, Isola G. The step further smile virtual planning: Milled versus prototyped mock-ups for the evaluation of the designed smile characteristics. *BMC Oral Health*. 2020;20(1). doi:10.1186/s12903-020-01145-z
18. Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: A review of the current literature. *BMC Oral Health*. 2017;17(1). doi:10.1186/s12903-017-0442-x
19. Joda T, Zarone F, Ferrari M. The complete digital workflow in fixed prosthodontics: A systematic review. *BMC Oral Health*. 2017;17(1). doi:10.1186/s12903-017-0415-0
20. Agrawal P, Nikhade P. Artificial Intelligence in Dentistry: Past, Present, and Future. *Cureus*. Published online July 28, 2022. doi:10.7759/cureus.27405
21. Bernauer SA, Zitzmann NU, Joda T. The use and performance of artificial intelligence in prosthodontics: A systematic review. *Sensors*. 2021;21(19). doi:10.3390/s21196628
22. Park WJ, Park JB. History and application of artificial neural networks in dentistry. Published online 2018.

23. Joda T, Zitzmann NU. Personalized workflows in reconstructive dentistry—current possibilities and future opportunities. *Clin Oral Investig.* 2022;26(6):4283-4290. doi:10.1007/s00784-022-04475-0
24. Chau RCW, Chong M, Thu KM, et al. Artificial intelligence-designed single molar dental prostheses: A protocol of prospective experimental study. *PLoS One.* 2022;17(6 June). doi:10.1371/journal.pone.0268535
25. Lee SJ, Chung D, Asano A, et al. Diagnosis of Tooth Prognosis Using Artificial Intelligence. *Diagnostics.* 2022;12(6). doi:10.3390/diagnostics12061422
26. Coachman C, Sesma N, Blatz MB. *Number 1 / Spring.* Vol 16.; 2021.
27. Zimmermann M, Mehl A. Virtual smile design systems: a current review. *Int J Comput Dent.* Published online 2015.
28. Sales Jreige C, Kimura RN, Toste ÂR, Segundo C, Coachman C, Sesma N. *Esthetic Treatment Planning with Digital Animation of the Smile Dynamics: A Technique to Create a 4-Dimensional Virtual Patient.*
29. Kim SH, Kim KB, Choo H. New Frontier in Advanced Dentistry: CBCT, Intraoral Scanner, Sensors, and Artificial Intelligence in Dentistry. *Sensors.* 2022;22(8). doi:10.3390/s22082942
30. Ezhov M, Gusarev M, Golitsyna M, et al. Clinically applicable artificial intelligence system for dental diagnosis with CBCT. *Sci Rep.* 2021;11(1). doi:10.1038/s41598-021-94093-9
31. Pauwels R, Araki K, Siewerdsen JH, Thongvigitmanee SS. Technical aspects of dental CBCT: State of the art. *Dentomaxillofacial Radiology.* 2015;44(1). doi:10.1259/dmfr.20140224
32. Hassani H, Amiri Andi P, Ghodsi A, Norouzi K, Komendantova N, Unger S. Shaping the Future of Smart Dentistry: From Artificial Intelligence (AI) to Intelligence Augmentation (IA). *IoT.* 2021;2(3):510-523. doi:10.3390/iot2030026
33. Takeuchi Y, Koizumi H, Furuchi M, Sato Y, Ohkubo C, Matsumura H. Use of digital impression systems with intraoral scanners for fabricating restorations and fixed dental prostheses. *J Oral Sci.* 2018;60(1):1-7. doi:10.2334/josnusd.17-0444
34. Orejas-Perez J, Gimenez-Gonzalez B, Ortiz-Collado I, Thuissard IJ, Santamaria-Laorden A. In Vivo Complete-Arch Implant Digital Impressions: Comparison of the

- Precision of Three Optical Impression Systems. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(7). doi:10.3390/ijerph19074300
35. Molinero-Mourelle P, Lam W, Rocio CS, Azevedo L, Miguel GP. Photogrammetric and intraoral digital impression technique for the rehabilitation of multiple unfavorably positioned dental implants: A Clinical Report. *Journal of Oral Implantology*. 2019;45(5):398-402. doi:10.1563/aaid-joi-D-19-00140
36. Jafri Z, Ahmad N, Sawai M, Sultan N, Bhardwaj A. Digital Smile Design-An innovative tool in aesthetic dentistry. *J Oral Biol Craniofac Res*. 2020;10(2):194-198. doi:10.1016/j.jobcr.2020.04.010
37. Sanchez-Lara A, Chochlidakis KM, Lampraki E, Molinelli R, Molinelli F, Ercoli C. Comprehensive digital approach with the Digital Smile System: A clinical report. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2019;121(6):871-875. doi:10.1016/j.prosdent.2018.10.012
38. Sancho-Puchades M, Fehmer V, Hammerle C, Sailer I. *Advanced Smile Diagnostics Using CAD/CAM Mock-Ups*. PubMed; 2015. <https://www.researchgate.net/publication/280125440>
39. Van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dental Materials*. 2012;28(1):3-12. doi:10.1016/j.dental.2011.10.014
40. Bilgin MS, Baytaroğlu EN, Erdem A, Dilber E. *A Review of Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacture Techniques for Removable Denture Fabrication*; 2016.
41. Chau RCW, Hsung RTC, McGrath C, Pow EHN, Lam WYH. Accuracy of artificial intelligence-designed single-molar dental prostheses: A feasibility study. *Journal of Prosthetic Dentistry*. Published online 2023. doi:10.1016/j.prosdent.2022.12.004