

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

Novas tecnologias em medicina dentária estética: imagiologia e impressão 3D para o planeamento, diagnóstico e realização de tratamentos estéticos dentários.

Trabalho submetido por
Alice Marie Gabrielle HUA
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina

junho de 2024

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

Novas tecnologias em medicina dentária estética: imagiologia e impressão 3D para o planeamento, diagnóstico e realização de tratamentos estéticos dentários.

Trabalho submetido por
Alice Marie Gabrielle HUA
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina

Trabalho orientado por
Ana Margarida Ramos Sintra Delgado

e coorientado por
Inês Argolinha

junho de 2024

AGRADECIMENTOS

A **Prof. Ana Delgado** pelo seu apoio precioso, pelos seus conselhos sábios e pela sua gentileza ao longo deste trabalho.

A **Mestre Ines Argolinha** pela sua ajuda valiosa, cooperação e reatividade excepcional, que facilitaram grandemente o avanço deste projeto.

As funcionarias e funcionários da Egas Moniz, cuja amabilidade e prontidão tornaram o ambiente académico mais acolhedor e propício ao aprendizado. Obrigado por tornarem o dia-a-dia mais agradável.

A **minha família** pelo encorajamento infalível e pelo apoio incondicional durante todos os meus estudos. Obrigado por estarem presentes em cada etapa, por me apoiarem nas minhas escolhas e por partilharem esta paixão comigo.

Aos meus amigos com quem evoluí durante estes cinco anos: **Eloïse, Priscille, Charlotte, Elise, Nour, Clara, Jean-Noël, Joey e Léo**. Tornaram estes anos inesquecíveis pelos momentos preciosos que partilhámos.

A **minha turma**, quero expressar a minha mais profunda gratidão por todos os momentos que partilhámos ao longo deste percurso. As clínicas, os conselhos e, especialmente, as gargalhadas que dividimos fizeram desta jornada algo verdadeiramente especial.

RESUMO

Nos últimos anos, a odontologia estética tem visto avanços significativos, especialmente com a integração de tecnologias digitais. Observaram-se desenvolvimentos importantes em várias áreas.

A imagiologia 3D revolucionou os processos odontológicos ao permitir a criação de modelos digitais precisos das estruturas dentárias. A impressão 3D possibilita a fabricação de próteses e guias cirúrgicos com alta precisão e personalização. Técnicas como a estereolitografia (SLA) e o processamento digital de luz (DLP) reduzem o tempo de tratamento e melhoram a precisão dos resultados.

Apesar dos benefícios, a adoção de tecnologias digitais enfrenta desafios como custos elevados e a necessidade de formação especializada. No entanto, os avanços contínuos prometem tornar estas tecnologias mais acessíveis e eficientes.

O objetivo desta monografia é ilustrar e descrever as mais recentes inovações em odontologia estética, como a imagiologia 3D e a impressão 3D, e explorar as suas aplicações práticas. A combinação das duas tem sido particularmente eficaz no diagnóstico, planejamento e execução de tratamentos estéticos.

Para criar esta revisão de literatura, serão consultadas diversas fontes, incluindo PubMed/Medline, Scielo, Google Scholar, The Cochrane Library e Elsevier Embase. As pesquisas serão baseadas em artigos publicados nos últimos 10 anos para garantir a relevância e atualidade das informações.

Palavras-chave: Medicina dentaria estética; CAD/CAM; intraoral scanner; Impressão 3D

ABSTRACT

In recent years, aesthetic dentistry has seen significant advances, especially with the integration of digital technologies. Important developments have been observed in various areas.

3D imaging has revolutionized dental processes by enabling the creation of precise digital models of dental structures. 3D printing allows for the fabrication of prostheses and surgical guides with high precision and customization. Techniques such as stereolithography (SLA) and digital light processing (DLP) reduce treatment time and improve result accuracy.

Despite the benefits, the adoption of digital technologies faces challenges such as high initial costs and the need for specialized training. However, continuous advancements promise to make these technologies more accessible and efficient.

The objective of this thesis is to illustrate and describe the latest innovations in aesthetic dentistry, such as 3D imaging and 3D printing, and to explore their practical applications. The combination of these two technologies has been particularly effective in the diagnosis, planning, and execution of aesthetic treatments.

To create this literature review, various sources will be consulted, including PubMed/Medline, Scielo, Google Scholar, The Cochrane Library, and Elsevier Embase. The research will be based on articles published in the last 10 years to ensure the relevance and currency of the information.

Keywords: Aesthetic dentistry; CAD/CAM; intraoral scanner; 3D printing

RÉSUMÉ

Ces dernières années, la dentisterie esthétique a connu des avancées significatives, notamment avec l'intégration des technologies numériques. Des développements importants ont été observés dans divers domaines.

L'imagerie 3D a révolutionné les processus dentaires en permettant la création de modèles numériques précis des structures dentaires. L'impression 3D permet la fabrication de prothèses et de guides chirurgicaux avec une grande précision et personnalisation. Des techniques telles que la stéréolithographie (SLA) et le traitement numérique de la lumière (DLP) réduisent le temps de traitement et améliorent la précision des résultats.

Malgré les avantages, l'adoption des technologies numériques fait face à des défis tels que des coûts initiaux élevés et la nécessité d'une formation spécialisée. Cependant, les avancées continues promettent de rendre ces technologies plus accessibles et efficaces.

L'objectif de cette thèse est d'illustrer et de décrire les dernières innovations en dentisterie esthétique, telles que l'imagerie 3D et l'impression 3D, et d'explorer leurs applications pratiques. La combinaison de ces deux technologies a été particulièrement efficace dans le diagnostic, la planification et l'exécution des traitements esthétiques.

Pour réaliser cette revue de littérature, diverses sources seront consultées, y compris PubMed/Medline, Scielo, Google Scholar, The Cochrane Library et Elsevier Embase. Les recherches seront basées sur des articles publiés au cours des 10 dernières années pour garantir la pertinence et l'actualité des informations.

Mots-clés : Médecine dentaire esthétique ; CAD/CAM ; scanner intraoral ; impression 3D

ÍNDICE GERAL

I. Introdução.....	13
1. Contextualização do Campo da Odontologia Estética	13
2. Evolução das Tecnologias Odontológicas	15
II. Evolução da Imagiologia 3D	19
1. Do Tradicional à Digitalização: Transformação dos Processos Odontológicos.....	19
1.1 Fluxo de trabalho tradicional	20
1.2 Fluxo de trabalho digital "antigo"	21
1.3 Fluxo de trabalho digital "rápido"	23
1.4 Comparação entre impressão convencional e digital	23
2. Técnicas de digitalização e scanner introrais associados	24
2.1 Microscopia confocal e aplicação do scanner	24
2.2 Técnica de triangulação e aplicação do scanner	28
2.3 Tomografia de Coerência Óptica.....	33
2.4 Interferometria de Franjas em Acordeão	34
2.5 Amostragem de Frente de Onda Ativa	36
3. Impacto e Desafios	38
3.1 As vantagens da Imagiologia 3D.....	38
3.2 As limitações da Imagiologia 3D	39
4. Perspectivas futuras	41
4.1 Integração da IA na imagiologia 3D.....	41
4.2 3D virtual dental patient	41
III. Evolução da Impressão 3D	43
1. Desenvolvimento Tecnológico	43
1.1 Técnica aditiva versus técnica subtrativa	44
1.2 Localização da produção	45
2. Técnica de impressão 3D.....	46
2.1 Estereolitografia (SLA)	46

2.2	Processamento Digital de Luz (DLP).....	48
2.3	Jato de fotopolímero (Photopolymer jetting).....	49
2.4	Sinterização seletiva a laser (SLS)	50
2.5	Modelação por filamento fundido (FDM).....	51
2.6	Impressoras à base de pó (PBP)/ Powder Binder Jetting.....	52
2.7	Bioimpressão tridimensional a laser/ Laser Bioprinting (LAB).....	52
3.	Materiais de impressão CAD/CAM	53
3.1	Cerâmicas adesivas.....	53
3.2	Materiais poliméricos	54
3.3	Compósitos	54
3.4	Cerâmicas resilientes	55
3.5	Materiais temporários	55
3.6	Cerâmicas de alta resistência.....	56
3.7	Zircónia.....	57
3.8	Metais	57
4.	Aplicação clínica na realização de tratamentos estéticos	58
4.1	Aplicações em protodontia.....	58
4.2	Aplicações em ferramentas de diagnóstico e planeamento pré-operatório	61
4.3	Aplicações em implantologia	61
4.4	Aplicações em ortodontia	63
5.	Impacto e Desafios	64
5.1	As vantagens da Impressão 3D.....	64
5.1	As desvantagens da Impressão 3D	65
6.	Impacto e Desafios	66
6.1	Avanços na Bioimpressão	66
6.2	Impacto no ensino da medicina dentária	67
6.3	A transição para um fluxo de trabalho digital	67
IV.	Aplicação Clínica da Sinergia das Inovações 3D.....	69

1. Conceitos de Caso Digital Total.....	69
1.1 Diagnóstico e planeamento de tratamentos com tecnologia 3D.....	69
1.2 Realização de tratamentos com tecnologia 3D.....	71
2. Apresentação de Casos Clínicos.....	72
2.1 Caso Clínico 1	72
2.2 Caso Clínico 2	75
2.3 Caso Clínico 3	80
3. Discussão e Perspectivas	84
3.1. Diagnóstico e Planeamento	84
3.2 Realização de tratamentos e Materiais	86
3.3 Limitações	87
V. Conclusão.....	89
IV. Bibliografia	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Linha do tempo dos marcos na estética dentária (1919 a 2019) (Blatz et al., 2019).....	16
Figura 2 Fluxo de trabalho tradicional (Logozzo et al., 2014; Watanabe et al., 2022) .	20
Figura 3 Um scanner indireto permitindo a captação de imagens de diferentes ângulos (Watanabe et al., 2022).....	21
Figura 4 Fluxo de trabalho digital "antigo" (Logozzo et al., 2014; Watanabe et al., 2022).....	22
Figura 5 Fluxo de trabalho digital "rápido" (Logozzo et al., 2014; Watanabe et al., 2022).....	23
Figura 6 Microscopia confocal (Logozzo et al., 2014)	25
Figura 7 Técnica de triangulação ativa (Logozzo et al., 2014)	29
Figura 8 Técnica de triangulação passiva (Logozzo et al., 2014)	29
Figura 9 Ondas interferenciais de um sistema AFI (Logozzo et al., 2014).....	35
Figura 10 AFI princípio (Logozzo et al., 2014)	35
Figura 11 Modelo criado por Estereolitografia (Nulty, 2021a).....	47
Figura 12 Esquema funcional da Estereolitografia (Jeong et al., 2023).....	47
Figura 13 Esquema funcional do Processamento Digital de Luz (Jeong et al., 2023)..	49
Figura 14 Vista intra-oral da arcada maxilar do paciente, antes do tratamento (Almalki et al., 2022)	72
Figura 15 Desenho final num software de desenho digital de sorrisos (Almalki et al., 2022).....	73
Figura 16 As restaurações finais no modelo (Almalki et al., 2022).....	74
Figura 17 O sorriso do paciente após o tratamento, a vista frontal (Almalki et al., 2022)	75
Figura 18 A. Fotografia intra-oral de pré-tratamento: Vista frontal. B. Foto intra-oral de pré-tratamento: Vista oclusal do maxilar superior. C. Foto intra-oral de pré-tratamento: Vista oclusal do maxilar inferior (Stanley et al., 2018).....	75
Figura 19 Planeamento da DSD post-desgaste (Stanley et al., 2018)	77
Figura 20 A e B Fotografia intra-oral pós-tratamento. Vista frontal. C Fotografia intra-oral pós-tratamento. Vista oclusal do maxilar superior. D Foto intra-oral pós-tratamento. Vista oclusal do maxilar inferior (Stanley et al., 2018).....	78
Figura 21 O T-Scan (https://www.mescan.com/t-scan-novus)	80

Figura 22 A. Fotografia clínica da situação pré-operatória demonstrando a migração dentária patológica resultante de periodontite avançada, B. Modelo digital 3D da situação intra-oral pré-operatória com o registo de mordida, C. Proposta de desenho de prótese imediata digital com base nos registos de mordida existentes (Hassan et al., 2017).....	81
Figura 23 A situação intra-oral digital 3D combinada (registada) com a digitalização facial (Hassan et al., 2017)	82
Figura 24 A. A digitalização intra-oral 3D pré-operatória sobreposta à digitalização facial em posição de sorriso, B. A proposta de desenho da prótese imediata virtual sobreposta à digitalização facial em posição de sorriso (Hassan et al., 2017)	82
Figura 25 A. A moldeira individual personalizada imediata impressa em 3D, B. O registo de mordida definitivo obtido com o material de registo de mordida da Avadent (Hassan et al., 2017)	83
Figura 26 A. Os dentes virtuais experimentam a prótese definitiva, B. A prótese definitiva in-situ (Hassan et al., 2017).....	84

I. Introdução

1. Contextualização do Campo da Odontologia Estética

Definição e escopo da Medicina Dentária estética

Segundo o Mosby's Dental Dictionary, a medicina dentária estética é definida por “the skills and techniques used to improve the art and symmetry of the teeth and face to enhance the appearance as well as the function of the teeth, oral cavity, and face.” Esta definição sublinha a importância crucial da aparência nesta especialidade. De facto, a estética dentária, ao melhorar o nosso sorriso, contribui para muito mais do que a saúde oral: desempenha um papel essencial no nosso bem-estar geral (Goldstein et al., 2018). No planeamento moderno do tratamento dentário, a estética deve ser uma consideração primordial, observando que, sem objetivos estéticos claros, os resultados podem ser desastrosos. Ao integrar a estética com a função, a estrutura e a biologia, o clínico pode prestar os melhores cuidados possíveis (Spear & Kokich, 2007).

A atratividade de uma pessoa é composta por uma série de elementos, dos quais a aparência física é um dos principais. Esta é uma área em que a medicina dentária estética pode ter uma influência significativamente positiva (Goldstein et al., 2018).

Atualmente, a medicina dentária estética engloba muitas especialidades dentárias diferentes e é multidisciplinar. Inclui a ortodontia, a periodontologia, a dentisteria restauradora e a cirurgia maxilofacial para satisfazer a procura de dentes mais atraentes por parte dos pacientes (Spear & Kokich, 2007).

Importância histórica

A preocupação com a estética dentária remonta a mais de 4 mil anos. Foi demonstrado que as civilizações antigas utilizavam fios de ouro para manter no sítio os dentes em falta. Os dentes eram substituídos por dentes humanos, animais, feitos de marfim ou mesmo de osso esculpido. No Japão, as técnicas de coloração dentária decorativa eram utilizadas há 4000 anos, enquanto os Maias cortavam os dentes para fins puramente estéticos. O sorriso já era considerado importante e um sinal de beleza. De

facto, o sorriso, e em particular com os dentes, é uma forma importante de transmitir vibrações positivas. Está no centro da interação social e é por isso que sempre foi considerado importante ter dentes bonitos (Goldstein et al., 2018; Walter, s. d.).

O sorriso apareceu pela primeira vez em obras de arte, como esculturas e pinturas, há 3000 a.C ... No início, era apenas um sorriso labial. O sorriso dento-labial surgiu muito mais tarde, no início do século XX. À medida que se prestava mais atenção ao rosto, os dentes começaram a desempenhar um papel cada vez mais importante. A ênfase no tratamento e cuidados dentários também melhorou a estética do sorriso (Goldstein et al., 2018).

A odontologia estética deu um grande salto no início do século XX, com o surgimento de novos materiais. O polimetacrilato de metilo (PMMA), um importante grupo de novos compósitos químicos, foi desenvolvido entre 1920 e 1930. Dão aos dentes um aspeto muito melhor, conferindo-lhes a cor desejada. A introdução, mais tardia, da cerâmica de revestimento, também conhecida como técnica de porcelana fundida em metal (PFM), representa outro avanço significativo na estética. Facetas cerâmicas foi introduzida no mercado em 1962 (Walter, s. d.).

Importância social

Hoje em dia, o desejo de ter uma aparência física atraente já não é visto de forma pejorativa, como nos tempos em que refletia vaidade. Pelo contrário, com a evolução das novas tecnologias, é agora visto como uma necessidade, ou mesmo um ponto forte (Goldstein et al., 2018; Walter, s. d.).

Foram as estrelas de Hollywood que começaram a receber tratamentos dentários estéticos e que influenciaram o público em geral. Desde então, numerosos estudos estabeleceram uma forte ligação entre uma aparência atraente e o sucesso no trabalho. Embora muitos dogmas sobre os ideais de beleza sejam estabelecidos pela sociedade, os dentistas devem sempre considerar os desejos individuais de cada paciente. “Esthetic dentistry is the art of dentistry in its purest form. The purpose is not to sacrifice function but to use it as the foundation of esthetics.” (Goldstein et al., 2018).

O rosto, incluindo o sorriso, é a parte do corpo mais observada. Foi demonstrado que o fator mais influente na percepção da estética de uma pessoa é o seu rosto. Uma pequena mudança, como perder um dente, tem muitas vezes um grande impacto na autoestima. Um belo sorriso desempenha um papel crucial não apenas no domínio da saúde dentária,

mas também na melhoria do bem-estar geral, pois reforça a autoimagem e influencia positivamente a forma como os outros nos percebem. Num mundo globalizado onde as exigências são altas, ter um sorriso atraente permite melhorar a autoestima, expressar confiança e personalidade.(Goldstein et al., 2018; Santos et al., 2016; Walter, s. d.)

“O sorriso nunca teve um papel tão importante na vida do ser humano como atualmente” (Oliveira et al., 2020).

As percepções de beleza são subjetivas, variando de um indivíduo para outro e influenciadas pela experiência pessoal e pelo contexto cultural. Os critérios de beleza diferem muito de uma cultura para outra. A atratividade física, um conceito altamente subjetivo, sugere que as pessoas consideradas mais bonitas beneficiam frequentemente de vantagens sociais e profissionais (Goldstein et al., 2018).

2. Evolução das Tecnologias Odontológicas

A medicina dentária estética deu um salto qualitativo no último século. Foi marcada pelo aparecimento de novos materiais, novas tecnologias e, por conseguinte, novas técnicas, com o objetivo de reproduzir o sorriso de cada indivíduo da forma mais fiel e natural possível. A linha cronológica (figura 1) abaixo mostra os avanços da medicina dentária estética nos últimos 100 anos. A investigação recente e a prática clínica consolidaram padrões estéticos globais que têm em conta as características estéticas naturais, a anatomia e a fisionomia. As inovações no branqueamento dentário, nos materiais de restauração e nas próteses sublinham a importância da adesão dentária. Os avanços na ortodontia, na cirurgia maxilofacial e na implantologia estão a contribuir consideravelmente para este desenvolvimento. Por último, a introdução da tecnologia digital para o desenho em 3D transformou a forma como criamos sorrisos personalizados e naturais, dando início a uma era de precisão e individualização na medicina dentária estética. (Blatz et al., 2019).

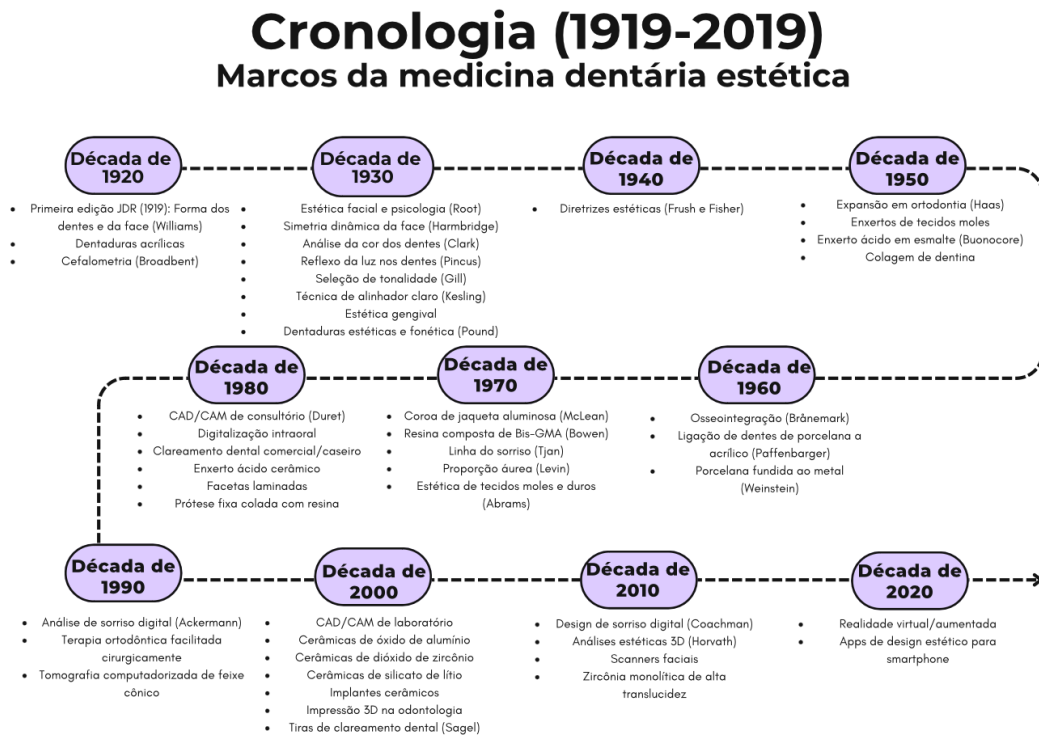


Figura 1. Linha do tempo dos marcos na estética dentária (1919 a 2019) (Blatz et al., 2019)

A invenção das tecnologias CAD (desenho assistido por computador)/ CAM (fabrico assistido por computador) permitiu a integração do diagnóstico assistido por computador, do planeamento do tratamento e do fabrico de restaurações. Este sistema simplifica o tratamento, aumenta a precisão e facilita a comunicação entre o paciente, o médico dentista e o protésico. O primeiro dispositivo CAD/CAM surgiu em 1985. O primeiro sistema CAD/CAM de consultório foi introduzido pouco tempo depois, tornando possível efetuar um diagnóstico em 24 horas e concluir o tratamento, o que anteriormente só era possível em vários dias. Os materiais de restauração utilizados pelas impressoras são numerosos, incluindo ligas, cera, cerâmica, resinas compostas, acrílicos, etc. Inicialmente, a produção limitava-se a restaurações unitárias, como *inlays* ou *onlays*, mas atualmente é possível produzir elementos muito maiores, como próteses removíveis ou fixas, ou mesmo próteses totais. Atualmente, existem muitos sistemas CAD/CAM diferentes que utilizam técnicas de digitalização e de fabrico diferentes (fresagem subtractiva vs técnicas aditivas) (Blatz et al., 2019; Coachman et al., 2020).

O “Digital smile design” surgiu no início do século XXI. Consiste na sobreposição de fotografias 2D com modelos digitais 3D, de forma a obter uma visão global e totalmente

digital do sorriso, para que se possa planejar e analisar no computador os resultados desejados do tratamento. Os antigos dogmas da estética dentária, onde se defendia a simetria perfeita, mudaram com este avanço. A partir de agora, ao integrar cada vez mais a dimensão 3D, é a harmonia e a naturalidade que passam a estar em primeiro plano. Procura-se um sorriso dinâmico e não um sorriso simétrico a todo o custo (Blatz et al., 2019).

Atualmente, é possível um processo operacional totalmente digitalizado, que pode combinar scanners faciais tridimensionais, scanners intraorais, scanners de modelos e scanners de tomografia de feixe cônico. Consequentemente, existe uma variedade de software que combina todas as fases de diagnóstico, planeamento do tratamento, conceção e fabrico digital num único sistema (Blatz et al., 2019).

II. Evolução da Imagiologia 3D

A primeira etapa da medicina dentária assistida por computador (CAD/CAM) é a digitalização das estruturas orais, para estabelecer o diagnóstico e o plano de tratamento. O Dr. François Duret foi pioneiro na utilização das tecnologias CAD/CAM em medicina dentária nos anos 70, quando introduziu o conceito de impressões ópticas. Graças a esta inovação, um dispositivo CAD/CAM foi desenvolvido e patenteado em 1984, e apresentado publicamente em 1989. Este dispositivo permitiu a produção de coroas dentárias em apenas 4 horas. Na década de 1980, os Drs. Werner Mörmann e Marco Brandestini também introduziram o primeiro scanner intra-oral digital para a dentista restauradora, lançando as bases para o sistema CEREC. A partir daí, a tecnologia avançou através de melhorias nos scanners intraorais, tornando possível produzir restaurações dentárias precisas diretamente a partir de imagens virtuais tridimensionais. Este sistema revolucionou a medicina dentária estética ao substituir as impressões convencionais. Estes sistemas convertem as estruturas orais em ficheiros 3D que podem depois ser processados por um computador. A medicina dentária de reabilitação estética é a principal área que requer a utilização de scanners intraorais 3D extremamente precisos (Logozzo et al., 2014; Watanabe et al., 2022).

1. Do Tradicional à Digitalização: Transformação dos Processos Odontológicos

Atualmente, existem 3 tipos de fluxo de trabalho: o fluxo de trabalho tradicional, o fluxo de trabalho digital "antigo", e o fluxo de trabalho digital "rápido" ou "chairside". Estas 3 formas de produzir peças dentárias são descritas nos diagramas abaixo. (Logozzo et al., 2014; Watanabe et al., 2022).

1.1 Fluxo de trabalho tradicional



Figura 2 Fluxo de trabalho tradicional (Logozzo et al., 2014; Watanabe et al., 2022)

Atualmente, com a evolução da digitalização, existem diferentes formas de produzir próteses com maior rapidez e precisão. No entanto, o fluxo de trabalho tradicional que utiliza modelos em gesso continua a ser útil para determinados casos específicos. É a chamada digitalização indireta.

1.1.1 Digitalização indireta

A digitalização indireta é utilizada quando as scans são feitas a partir de modelos convencionais de laboratório. Esta técnica é utilizada quando a digitalização direta não é possível (grande área). Requer mais tempo de trabalho. Os scanners de laboratório continuam a ser mais precisos do que os scanners intraorais, mas é importante ter em conta as distorções dos modelos de estudo.

Os scanners indirectos já percorreram um longo caminho. Os primeiros scanners deste tipo tinham uma única fonte de luz e, por conseguinte, um único ângulo de visão.

Atualmente, os movimentos das fontes de luz são múltiplos, controlados e precisos, o que significa que as imagens não são sobrepostas e que não existem áreas de justaposição ou imprecisão. Alguns são mesmo capazes de mover o objeto durante o exame, permitindo a captação de imagens de diferentes ângulos (Fig. 3). No entanto, são menos maleáveis do que os scanners intraorais, o que explica a desfocagem de certas zonas de difícil acesso, como as zonas interproximais ou os sulcos. É então possível efetuar uma digitalização em 2 fases para captar as zonas em falta.

De um modo geral, é a partir de moldes de gesso que são efectuadas as impressões digitais. No entanto, há casos especiais em que este tipo de molde não é necessário. É suficiente digitalizar as impressões tradicionais quando estas são pouco profundas e sem grandes cavidades. É mais fácil efetuar impressões das zonas posteriores do que das anteriores (Watanabe et al., 2022).

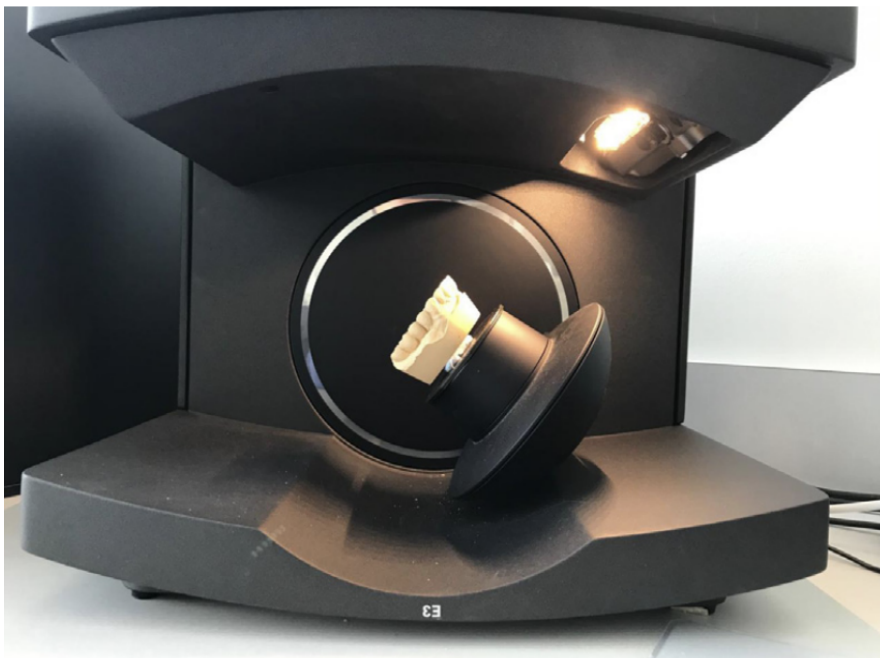


Figura 3 Um scanner indireto permitindo a captação de imagens de diferentes ângulos (Watanabe et al., 2022)

1.2 Fluxo de trabalho digital "antigo"

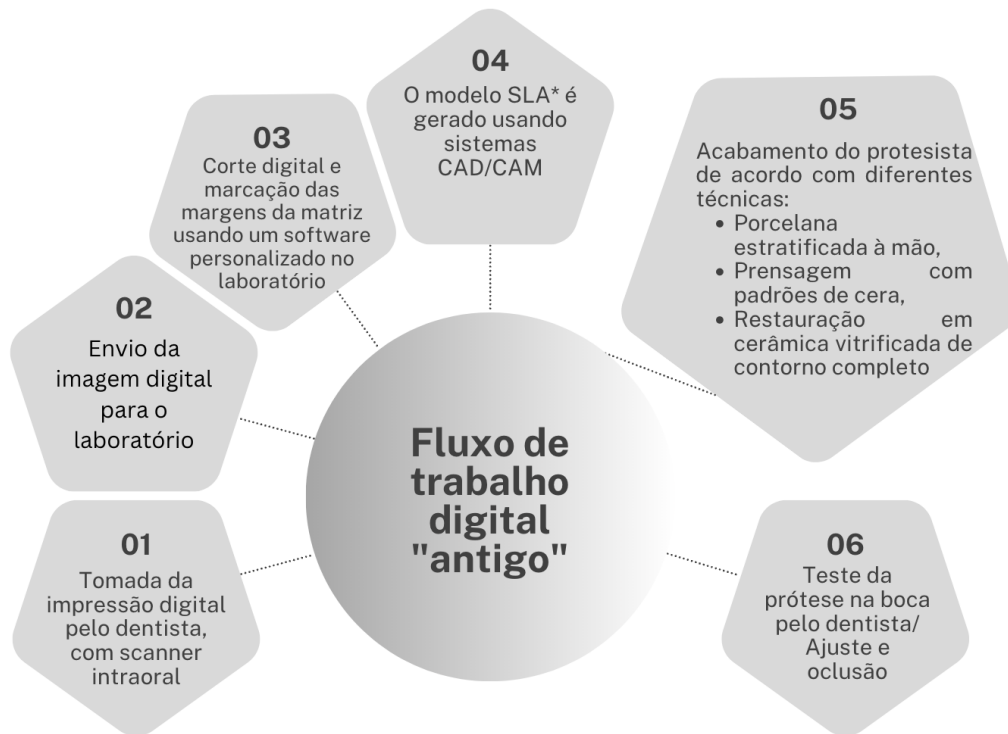


Figura 4 Fluxo de trabalho digital "antigo" (Logozzo et al., 2014; Watanabe et al., 2022)

*O termo "SLA" (StereoLithography Apparatus) refere-se a uma tecnologia de impressão 3D que permite a concepção de objetos sólidos a partir de dados digitais através da sobreposição sucessiva de camadas de material. A estereolitografia (SLA) envolve a utilização de um laser ultravioleta (UV) para polimerizar uma resina líquida fotorreativa, camada a camada, para criar o objeto final.

Este novo método de trabalho deu origem ao termo "digitalização direta", em oposição à "digitalização indireta".

1.2.1 Digitalização direta

A digitalização direta consiste em scanear diretamente sobre os dentes ou outras estruturas orais.

Este tipo de dispositivo é utilizado para reproduzir pequenas peças, um dente ou mais. No entanto, não deve ser utilizado para superfícies maiores, como a arcada completa. Se a área a ser digitalizada for demasiado grande, o scanner terá de fundir várias imagens, o que limita a sua precisão em comparação com outras técnicas. Também não pode capturar

objetos em movimento, como próteses removíveis, para as quais todos os bordos têm de ser digitalizados. No entanto, este tipo de scanner é muito prático devido à sua rapidez, sendo utilizado diretamente no doente na cadeira. Nos últimos anos, também se registou uma grande melhoria na precisão e comodidade destes dispositivos. (Watanabe et al., 2022)

1.3 Fluxo de trabalho digital "rápido"

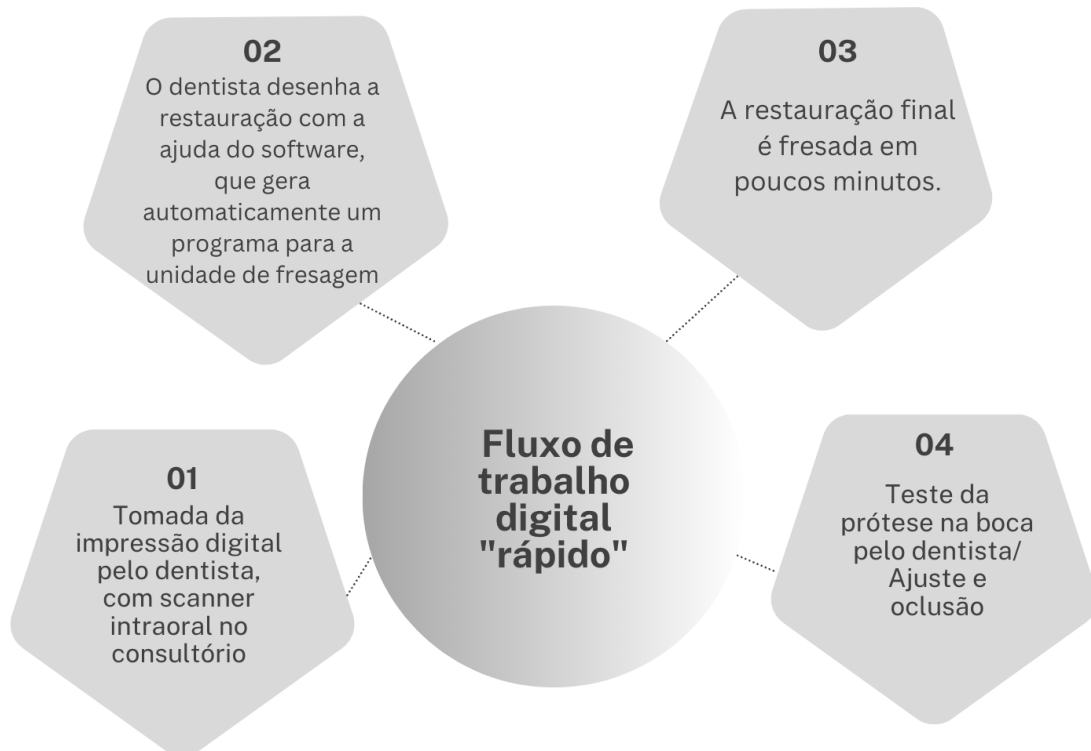


Figura 5 Fluxo de trabalho digital "rápido" (Logozzo et al., 2014; Watanabe et al., 2022)

O fluxo de trabalho digital "rápido" ou "chairside", como o próprio nome indica, permite que todo o trabalho seja realizado no consultório, numa única sessão. Não é necessário passar pelo laboratório, o que permite poupar muito tempo. O número de etapas é muito menor do que nas técnicas mais antigas, como mostram os diagramas. Este processo pode ser implementado apenas quando o médico dispõe de um scanner intraoral equipado com uma unidade de fresagem no consultório.

1.4 Comparação entre impressão convencional e digital

A transformação digital na medicina dentária oferece uma alternativa eficaz aos métodos de impressão convencionais, marcando uma evolução significativa nos processos dentários. Os avanços nos scanners intra-orais 3D estão a ultrapassar as limitações dos métodos de trabalho convencionais. Aqui estão os quadros que destacam as vantagens e desvantagens das impressões digitais em comparação com as tradicionais na odontologia (Anexo I).

A adoção da impressão digital na medicina dentária representa um avanço significativo, trazendo eficiência, precisão e uma melhor experiência para o paciente, sublinhando a importância crescente da tecnologia digital na medicina dentária. No entanto, apresenta algumas desvantagens em comparação com as tecnologias tradicionais (Anexo II).

2. Técnicas de digitalização e scanner introrais associados

Atualmente, existem um grande número de scanners intraorais que utilizam várias tecnologias ópticas sem contacto para minimizar a interferência e melhorar a precisão do exame. Estas tecnologias incluem a microscopia confocal, a tomografia de coerência óptica e a estereovisão, entre outras. Estes dispositivos permitiram a introdução de uma digitalização eficiente e precisa no campo da dentisteria de restauração.

Nesta secção, abordamos diferentes técnicas e tipos de scanners, com o objetivo de descrever a sua evolução e cobrir a maioria das características dos diferentes scanners disponíveis no mercado. Embora não se trate de uma panorâmica completa, o seu objetivo é proporcionar uma compreensão global dos avanços tecnológicos neste domínio (Logozzo et al., 2014)

2.1 Microscopia confocal e aplicação do scanner

A microscopia confocal de varrimento a laser (CLSM) é uma técnica avançada para captar imagens de alta resolução a profundidades específicas dentro de uma amostra, utilizando seccionamento óptico. Difere-se dos microscópios tradicionais na medida em que capta apenas um nível de profundidade de cada vez, permitindo a obtenção de imagens mais nítidas através da eliminação da luz desfocada. Inventada por Marvin Minsky em 1961 e popularizada nos anos 80 com o advento dos lasers, esta técnica utiliza um laser que passa através de um pequeno volume da amostra. A luz refletida ou

fluorescente é então recolhida e filtrada para reter apenas os comprimentos de onda desejados, antes de ser transformada num sinal elétrico para criar uma imagem pixel a pixel. As imagens de diferentes planos focais podem ser combinadas para gerar uma representação tridimensional da amostra, proporcionando uma visão detalhada e aprofundada. (Logozzo et al., 2014)

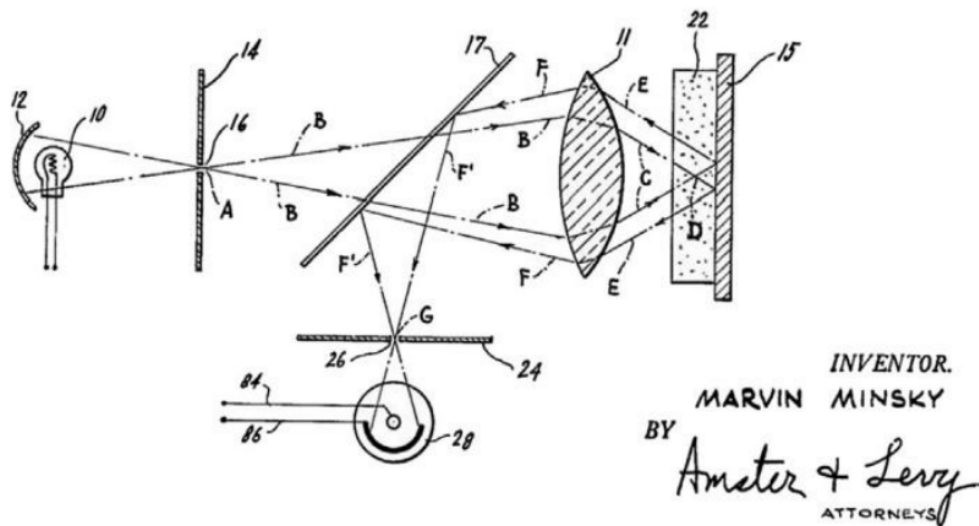


Figura 6 Microscopia confocal (Logozzo et al., 2014)

2.1.1 iTero

O sistema iTero, introduzido em 2007 pela Cadent LTD, marca um avanço significativo na imagiologia dentária utilizando a técnica de imagiologia confocal paralela. A característica única deste sistema é a sua capacidade de projetar um conjunto de feixes de laser vermelho sobre os dentes sem necessidade de revestimento prévio, permitindo a captura detalhada das estruturas orais em três dimensões. Os dados tridimensionais são agregados através da combinação da informação obtida de diferentes ângulos, permitindo uma reconstrução precisa da topologia dentária. O iTero distingue-

se pelo facto de não utilizar pós de revestimento, graças à incorporação de uma roda de cores na unidade de captura, apesar de exigir uma cabeça de scanner maior do que outros modelos. Além disso, este sistema é capaz de capturar simultaneamente imagens bidimensionais a cores dos dentes, permitindo uma correspondência exacta entre cada ponto nas imagens 2D e o seu equivalente espacial no modelo 3D. Este processo aumenta a precisão do diagnóstico e o planeamento do tratamento (Amornvit et al., 2021; Logozzo et al., 2014).

Ao longo do tempo, a tecnologia iTero tem continuado a evoluir. A última inovação nesta evolução é o iTero Element 5D d'Align Technology, que não só incorpora as capacidades de digitalização 3D das gerações anteriores, como também adiciona a tecnologia NIRI (Near Infrared Imaging) para a deteção de cáries sem a necessidade de exposição a raios X. Os scanners intra-orais equipados com tecnologia NIR podem ser comparáveis a métodos de diagnóstico estabelecidos, como a radiografia bitewing, na deteção de cáries interproximais e no diagnóstico precoce de cáries não cavitadas. No entanto, embora promissora, a tecnologia NIR em scanners intra-orais enfrenta desafios, incluindo a sua precisão na deteção de cáries secundárias e subgingivais. Esta adição marca um passo em frente significativo, uma vez que aumenta o espectro de funcionalidades do scanner funcionalidade do scanner para além da simples aquisição de imagens 3D, incluindo uma importante componente de diagnóstico (Lin et al., 2019; Sobral et al., 2022).

2.1.2 3D Progress

O "3D Progress", concebido pela MHT S.p.A. em Itália e pela MHT Optic Research AG na Suíça, está a revolucionar a medicina dentária digital. Fácil de transportar e de ligar por USB a um computador, este scanner distingue-se pela sua capacidade de efetuar impressões digitais rapidamente. De facto, é capaz de realizar uma digitalização da arcada em apenas alguns minutos (fazendo uma impressão digital em menos de 1/10 de segundo para uma única digitalização, com uma velocidade média de digitalização igual a 14 digitalizações/segundo) - uma vantagem considerável para otimizar o fluxo de trabalho no consultório.

Tal como o iTero, o seu método de digitalização significa que, na maioria dos casos, não é necessário aplicar pó nos dentes, exceto em superfícies altamente reflectoras (por exemplo, implantes).

Os dados recolhidos pelo 3D Progress são inicialmente representados sob a forma de uma nuvem de pontos, antes de serem convertidos para o formato STL, o que permite a sua compatibilidade com software CAD para uma integração perfeita numa variedade de ambientes clínicos.

Incorporando um sensor de pixéis inteligente, o 3D Progress assegura uma digitalização rápida e precisa, com a capacidade de ajustar o processo em tempo real, uma característica que sublinha a sua adaptabilidade. Em contraste, desta vez, com o iTero, muito mais volumoso. O 3D Progress centra-se na precisão e no conforto do paciente (Amornvit et al., 2021; Logozzo et al., 2014).

2.1.3 TRIOS

O sistema TRIOS™, desenvolvido pela 3Shape em 2010 e introduzido no mercado no ano seguinte, abre novos caminhos na digitalização dentária, combinando microscopia confocal de alta velocidade e técnicas de seccionamento óptico. É capaz de captar até 3000 imagens por segundo, permitindo a criação instantânea de um modelo 3D pormenorizado das estruturas dentárias e gengivais, integrando simultaneamente cores naturais.

A sua capacidade de alterar o plano focal sem ter de mover o próprio scanner garante uma telecentricidade consistente. A telecentricidade é uma propriedade óptica importante nos sistemas de digitalização e medição, como o sistema TRIOS™ da 3Shape. Esta característica assegura que a lente do scanner mantém um ângulo de visão constante sobre o objeto digitalizado, independentemente da distância. Por outras palavras, uma lente telecêntrica pode captar imagens com uma ampliação que não se altera à medida que o objeto se aproxima ou se afasta da lente. Isto elimina as distorções comuns nas imagens obtidas com lentes não telecêntricas, em que os objectos podem parecer maiores ou mais pequenos, dependendo da sua distância à lente. No contexto do TRIOS™, a telecentricidade mantém a consistência na ampliação das imagens captadas, assegurando uma elevada precisão dos modelos 3D gerados, mesmo que o movimento entre a sonda e os dentes varie durante a digitalização. A utilização do TRIOS™ foi concebida para ser fácil e flexível.

Tal como os dispositivos iTero e 3DProgress (exceto em casos especiais já mencionados), não requer qualquer pré-tratamento dos dentes com pós, tornando a experiência mais agradável para o paciente e simplificando o procedimento.

O TRIOS™ está disponível em duas variantes: o TRIOSR Cart e o TRIOSR Pod. O Pod possui apenas um scanner portátil, o que lhe confere um peso reduzido e, por conseguinte, uma grande mobilidade. Além disso, ao contrário do Cart, é compatível com muitos sistemas informáticos e iPads. Para ambos os sistemas, existe uma versão TRIOSR Standard ou Colorida, sendo que esta última permite a visualização das imagens a cores reais.

É essencial sublinhar que o TRIOS, especializado na captura de impressões digitais e na conceção assistida por computador, não integra qualquer componente de maquinaria CAM. Isto permite-lhe concentrar-se exclusivamente na precisão da digitalização e na facilidade de integração no fluxo de trabalho dentário.

O mais recente Trios 4 acrescenta características como a deteção de cáries sem contacto, melhorando a prevenção e o diagnóstico precoce (Amornvit et al., 2021; Logozzo et al., 2014; Ting-shu & Jian, 2015).

2.2 Técnica de triangulação e aplicação do scanner

A técnica de triangulação utilizada por alguns scanners intraorais apresenta-se sob duas formas: ativa e passiva. Com o método ativo (Fig. 7), um sinal de luz, frequentemente um laser, é dirigido ao objeto a ser digitalizado, refletido por ele e depois captado pela máquina. Este processo baseia-se na formação de um triângulo entre a fonte de luz, o ponto do objeto e o captor, o que permite calcular as coordenadas do ponto através da trigonometria. Esta técnica pode ser um pouco limitada pela forma do equipamento e pelas zonas de sombra.

A triangulação passiva (Fig. 8) utiliza a estereovisão. Não emite uma fonte de luz. Limita-se a obter duas imagens do objeto, captadas de dois ângulos diferentes, por câmaras cujas posições são previamente definidas, permitindo assim compreender a forma do objeto. Este método é menos dispendioso devido à sua simplicidade e à utilização de componentes acessíveis. No entanto, requer elementos visuais distintos e detalhados para ser exato. Pode ter dificuldades com superfícies uniformes. Além disso, como não emite luz adicional, o nível de iluminação ambiente também pode afetar a qualidade da captura de imagem (Logozzo et al., 2014).

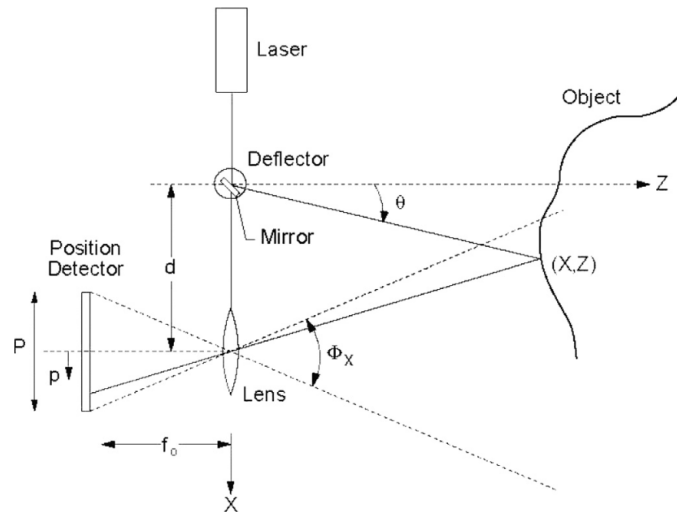


Figura 7 Técnica de triangulação ativa (Logozzo et al., 2014)

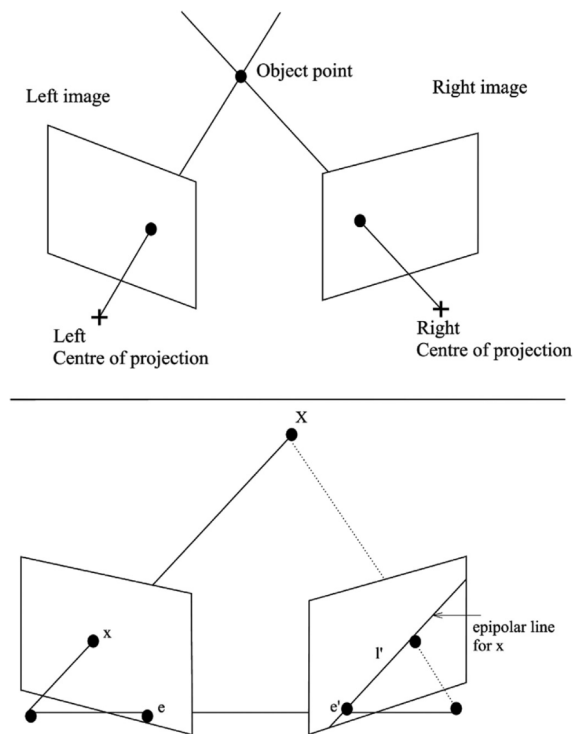


Figura 8 Técnica de triangulação passiva (Logozzo et al., 2014)

2.2.1 CEREC

CEREC, que significa Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics, transformou a prática dentária com a sua abordagem inovadora às restaurações estéticas diretamente no consultório do dentista. Desenvolvido pela Sirona Dental System GMBH e introduzido em 1987, o sistema evoluiu através de várias atualizações tecnológicas. Este scanner incorpora simultaneamente a microscopia confocal e a técnica de triangulação. Estes avanços culminaram em versões sofisticadas, como a CEREC AC Bluecam em 2009, seguida da Omnicam, que expandiram consideravelmente as capacidades de restauração dentária.

O sistema CEREC deu um grande passo em frente ao mudar de um laser de infravermelhos para a utilização de LEDs que emitem luz azul. Este desenvolvimento tecnológico melhorou significativamente a precisão das digitalizações. A luz azul, que tem um comprimento de onda mais curto, reduz a distorção e melhora a qualidade da montagem da imagem em superfícies grandes, como os quadrantes dentários.

Tradicionalmente, o CEREC exigia a aplicação de um pó refletor para uniformizar a refletividade das superfícies dentárias antes da digitalização. Este requisito foi revolucionado com a introdução da Omnicam, que permite digitalizações de alta precisão sem o passo prévio de aplicação de pó, tornando o processo mais suave e mais exato.

Os desenvolvimentos nos scanners CEREC, desde o Bluecam ao Omnicam, demonstram os avanços na tecnologia de captura de imagem. O Bluecam, que utiliza luz LED azul, é especializado na captação de imagens fixas, perfeitamente adaptadas a pequenas áreas. Este modelo incorpora sistemas avançados de estabilização, incluindo um mecanismo de deteção de movimento, garantindo que as imagens só são captadas quando a câmara está completamente imóvel, minimizando assim os erros causados pelas vibrações. A Omnicam, por sua vez, adota uma estratégia de captação contínua de imagens, ideal para efetuar digitalizações completas de arcadas dentárias, sem necessidade de pó e com uma reprodução natural das cores, abrindo um novo leque de aplicações.

No coração do CEREC está a integração de um scanner 3D com uma unidade de fresagem, o que permite conceber e fabricar restaurações dentárias no local numa única visita. Esta sinergia entre a captura digital e o fabrico físico de restaurações, utilizando materiais como a cerâmica ou o compósito, oferece uma solução completa, desde a

conceção até à produção da restauração final (Logozzo et al., 2014; Ting-shu & Jian, 2015).

2.2.2 IOS FastScan

IOS Technologies, criada em 2007, IOS FastScan. Este scanner distingue-se principalmente pelo seu design inovador: é o único sistema em que a câmara se move dentro da varinha. Esta característica permite ao dentista segurar a varinha em três posições-chave (vestibular, lingual e oclusal) para digitalizar uma arcada completa, graças ao movimento automático do laser IOS FastScan dentro da varinha. O IOS FastScan destaca-se por produzir dados em formato STL, facilitando a colaboração com todos os laboratórios graças a este formato de código aberto. O scanner baseia-se no princípio da triangulação ativa, utilizando a imagem Scheimpflug e a projeção de folhas de luz. Está disponível como scanner independente ou como scanner que incorpora uma unidade de fresagem.

A imagem Scheimpflug é uma técnica óptica em que o plano da objetiva não é paralelo ao plano do sensor de imagem. Graças a esta configuração, é possível obter uma grande profundidade de campo, permitindo captar imagens nítidas de todas as superfícies de um objeto complexo, como os dentes, mesmo que não estejam paralelos ao sensor da câmara. O processo de projeção da folha de luz envolve a projeção de uma fina camada de luz sobre o objeto a ser digitalizado. À medida que esta folha de luz se move através do objeto, ilumina secções transversais sucessivas, permitindo à câmara captar imagens 3D precisas da sua superfície. Este método é particularmente eficaz na digitalização de formas e cavidades complexas, como as utilizadas em medicina dentária (Logozzo et al., 2014).

2.2.3 MIA3d

O MIA3d, concebido pela empresa israelita Densys3D LTD, incorpora um computador, um monitor e uma câmara intra-oral leve. Introduzido no mercado em 2007, este sistema destaca-se pela sua capacidade de efetuar digitalizações dentárias ultrarrápidas, obtendo uma impressão completa da boca em apenas 90 segundos. Com uma precisão notável de 30 micrómetros (μm), o MIA3d tira partido da luz visível para gerar

ficheiros em formato ASCII (um sistema de codificação de caracteres utilizado para representar texto em informática, utilizado para armazenar e trocar informações textuais e facilmente legível por humanos e máquinas), o que simplifica muito a sua integração com vários equipamentos CAD/CAM de terceiros. Este scanner distingue-se dos demais pela sua pega e cabeça ultrafina, reconhecida como a mais ergonómica e leve do mercado. Permite a digitalização completa das zonas interproximais durante os exames. (Logozzo et al., 2014).

2.2.4 DirectScan

O sistema DirectScan da HINT - ELS GMBH (DE), desenvolvido em 2010, destaca-se pela sua capacidade de alcançar uma precisão ligeiramente melhor do que outros scanners, variando entre 12 e 15 μm , em comparação com o MIA3dTM e a sua precisão de 30 μm . Esta diferença de precisão pode ser crucial para determinadas aplicações clínicas em que cada micrómetro conta. O DirectScan utiliza a visão estereoscópica humana combinada com a projeção linear para as suas digitalizações, uma abordagem que imita a forma como os olhos humanos percebem a profundidade e os contornos. É notável a variedade de métodos tecnológicos empregues para captar os dados 3D (varia em relação às imagens da Scheimpflug, mas é equiparável). O DirectScan destaca-se pela sua capacidade de captar imagens rapidamente a cada 200 ms, permitindo a aquisição dinâmica de dados. Tal como o MIA3, o DirectScan oferece ficheiros em formato ASCII para uma fácil integração com vários sistemas CAD/CAM (Logozzo et al., 2014).

2.2.5 Bluescan-I

O Bluescan-I, criado em colaboração com a AIT, destaca-se pela sua tecnologia avançada de medição óptica, capaz de captar 8 a 15 imagens estéreo por segundo. A captura de impressões dentárias transforma-se num processo tão fluído que se torna comparável à realização de um vídeo, quase cinematográfico, realizado por um joystick ergonómico equipado com um sistema óptico integrado.

Uma das principais inovações do Bluescan-I é o seu sistema anti-vibração, eliminando a necessidade de o operador manter a câmara perfeitamente imóvel ou de efetuar

calibrações frequentes, uma característica que não se observa no MIA3d ou no DirectScan. Este sistema aumenta o conforto do operador e a fluidez do trabalho clínico.

O Bluescan-I funciona utilizando o princípio da visão estereoscópica ativa, projectando um padrão estruturado na área oral, o que facilita a criação de modelos 3D precisos através da triangulação. O método de captura é semelhante ao do DirectScan, que também utiliza a visão estereoscópica, mas difere na medida em que utiliza o padrão estruturado para a triangulação, oferecendo um método potencialmente mais preciso para a reconstrução 3D. Um padrão estruturado é uma série de padrões de luz (frequentemente linhas, grelhas ou pontos) projetados no objeto ou cena a digitalizar. Estes padrões podem variar em complexidade e são concebidos para serem facilmente identificáveis pelo sistema de digitalização. Quando este padrão de luz é projetado sobre uma superfície com variações de profundidade ou relevo, deforma-se de acordo com a geometria da superfície (Logozzo et al., 2014).

2.3 Tomografia de Coerência Óptica

A Tomografia de Coerência Óptica, ou OCT, é um método de imagiologia que cria imagens detalhadas do interior de objetos, como as camadas de tecido biológico do corpo. Funciona através da divisão de uma luz especial, chamada luz de origem, em duas partes dentro do interferómetro: uma que serve de referência (campo de referência), que permanecerá na superfície do objeto, e outra (campo de amostra), que penetrará nas camadas do objeto. Após a interação com o dente, a luz refletida é reconduzida e mesclada com a luz de referência, fusionando-se com ela. Este encontro cria um padrão particular de luz, chamado franjas de interferência, que nos ajuda a ver o que se passa no interior do objeto.

A OCT utiliza luz na parte próxima do infravermelho do espectro de luz. Isto permite-lhe penetrar profundamente nos tecidos e fornecer imagens claras e detalhadas. Quanto maior for a variedade dos comprimentos de onda da luz utilizada pela OCT, mais precisas serão as imagens produzidas e melhor será a qualidade da imagem obtida. É por isso que a OCT é tão útil para examinar as camadas imediatamente abaixo da superfície dos tecidos, revelando pormenores invisíveis a olho nu (Logozzo et al., 2014).

2.3.1 E4D

O sistema E4D, lançado em 2008 pela D4D Technologies, destaca-se pela sua capacidade de efetuar exames de alta precisão utilizando a Tomografia de Coerência Óptica ou um sensor confocal. Como resultado, muitas vezes não há necessidade de aplicar uma camada de pó refletor nos dentes. O seu processo de digitalização único divide a luz em dois caminhos, um direcionado para o dente e outro que funciona como referência. A luz refletida pelo dente mistura-se então com a luz de referência, criando um padrão de interferência que é captado e utilizado para gerar modelos dentários digitais com uma precisão notável. O scanner tem de ser posicionado a uma distância exata do dente, pelo que é estabilizado por pontas de borracha na cabeça do scanner.

Para registar a oclusão do paciente com precisão, o sistema E4D não necessita de digitalizar a arcada dentária oposta. Em vez disso, é aplicado um material especial no dente preparado e todo o conjunto é digitalizado. O scanner é capaz de identificar tanto o material como os dentes vizinhos que não estão cobertos pelo material. Graças ao sistema de desenho integrado do E4D, é possível detetar e marcar automaticamente os bordos das preparações dentárias. Depois de o dentista ter validado esta etapa, o sistema propõe um desenho de restauração utilizando formas predefinidas nas bibliotecas do sistema. Esta proposta pode ser modificada pelo dentista, utilizando as várias ferramentas à sua disposição. Quando o dentista tiver finalmente escolhido o tipo de restauração, os dados são transmitidos para a unidade de fresagem, permitindo que o dentista produza a restauração acabada no consultório. Graças a esta abordagem, é possível criar restaurações que se adaptam perfeitamente às alturas oclusais ideais (Logozzo et al., 2014).

2.4 Interferometria de Franjas em Acordeão

A Interferometria de Franjas em Acordeão (AFI) revoluciona a abordagem tradicional da interferometria laser, acrescentando uma dimensão tridimensional à análise de superfícies. Utiliza dois lasers que, como pequenos projectores, iluminam o objeto de interesse, criando um padrão específico de franjas de interferência. Uma câmara muito precisa regista este padrão. Ao analisar as variações deste padrão de interferência, é

possível deduzir as dimensões exactas do objeto, comprimento, largura e profundidade, graças à relação espacial bem definida entre as fontes de laser e a câmara.

O que torna a AFI particularmente poderosa é a sua capacidade de fornecer imagens com uma nitidez incomparável, incluindo de superfícies brilhantes ou metálicas, que são frequentemente um problema com outras técnicas. É também menos afetada pelas variações de luz no ambiente, permitindo uma captura fiável e precisa em diferentes condições de iluminação (Logozzo et al., 2014).

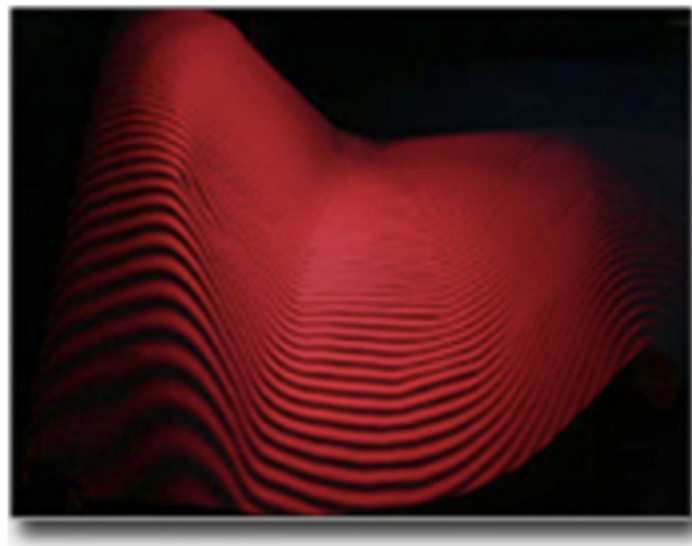


Figura 9 Ondas interferenciais de um sistema AFI (Logozzo et al., 2014)

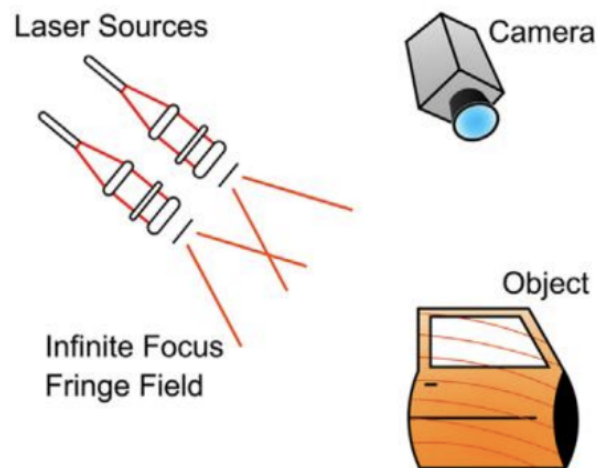


Figura 10 AFI princípio (Logozzo et al., 2014)

2.4.1 DPI - 3D e DPI/O

O sistema DPI - 3D, criado pela Dimensional Photonics International, Inc., oferece uma precisão excepcional na medição e modelação de formas 3D. O sistema, que foi desenvolvido no Laboratório Lincoln do MIT nos anos 90, destaca-se pela sua tecnologia patenteada, que se encontra entre as mais fiáveis para a digitalização 3D.

O DPI - 3D utiliza a Interferometria de Franjas Acordeão (AFI) para criar imagens 3D precisas sem a necessidade de pó para captar a topografia dos dentes. A sua característica única é a utilização de duas fibras ópticas monomodo para gerar um padrão de interferência, simplificando o processo em comparação com técnicas mais complexas, como o sistema de projecção de luz estruturada utilizado pela Lava C.O.S. Este método permite uma modificação rápida da fase da luz emitida, tornando o processo mais rápido e mais eficiente do que os métodos convencionais. Os sinais de luz reflectidos são então captados e transformados em dados digitais, que são analisados para criar um modelo 3D preciso do dente. O DPI - 3D trabalha com comprimentos de onda específicos (350 nm e 500 nm) para minimizar os erros devidos às fontes de luz circundantes, especialmente abaixo da superfície do dente.

Atualmente, a DPI está a concentrar-se no DPI/O, um scanner intra-oral portátil que funciona em tempo real. Embora ainda em fase de testes, o DPI/O deverá transformar as impressões dentárias digitais graças ao seu design compacto e à sua capacidade de manter uma precisão constante, mesmo quando se desloca entre o scanner e o dente (Logozzo et al., 2014).

2.5 Amostragem de Frente de Onda Ativa

O método de Amostragem de Frente de Onda Ativa (AWS) torna a captação de imagens 3D muito mais fácil. Em vez de utilizar várias câmaras, o AWS utiliza um pequeno dispositivo que roda em torno da lente da câmara. Esta rotação altera a visão que a câmara tem dos objectos, tornando possível determinar a sua profundidade a partir de uma imagem 2D tradicional. Ao rodar em torno da lente, o dispositivo dá à câmara outro ponto de vista sobre o objeto, como se o visse de diferentes ângulos sem se mover. Esta técnica permite obter imagens com dados sobre a altura, a largura e, sobretudo, a

profundidade dos objectos, dando uma visão completa em 3D. Isto torna o AWS a escolha ideal quando a visão tridimensional (Logozzo et al., 2014; Ting-shu & Jian, 2015).

2.5.1 Lava C.O.S.

Desde o seu lançamento em 2008, o scanner intra-oral Lava C.O.S., desenvolvido pela Brontes Technologies e adquirido pela 3M ESPE, evoluiu significativamente. Com uma única câmara, utiliza o método Active Wavefront Sampling (AWS) para captar dados 3D de uma forma revolucionária. Cada vez que o scanner Lava C.O.S. efectua uma digitalização, recolhe mais de 10.000 pontos de dados separados. Como o scanner pode captar até vinte sequências de dados 3D por segundo, acumula uma enorme quantidade de informação, totalizando mais de 24 milhões de pontos de dados para uma digitalização completa. Esta grande quantidade de dados deve-se à sobreposição de imagens captadas durante as sucessivas digitalizações, o que garante uma precisão muito elevada do modelo 3D final.

O Lava C.O.S. requer, no entanto, a aplicação de um pó especial nas superfícies dentárias para a digitalização, à semelhança de outros sistemas como o CEREC AC Bluecam, o que lhe permite recolher pormenores finos. O seu método de digitalização único e o seu sofisticado sistema ótico, composto por 22 lentes e 192 células LED azuis, garantem uma qualidade de imagem excepcional.

Este aparelho caracteriza-se também pela sua versatilidade. Oferece a possibilidade de produzir modelos de estereolitografia (SLA) adequados a qualquer coroa ou prótese fixa, independentemente do tipo de acabamento. Além disso, o Lava C.O.S. permite a exportação de dados num formato único que funciona apenas com o seu software e hardware CAD/CAM associado, mas também pode ser utilizado com outros softwares como o Dental Wings (DWOS), proporcionando um grau de flexibilidade técnica. Por último, permite a digitalização de casos de implantes, demonstrando a sua integração nos fluxos de trabalho digitais contemporâneos em medicina dentária (Logozzo et al., 2014; Ting-shu & Jian, 2015).

Na digitalização em dentisteria restauradora, os avanços recentes deram origem a uma variedade de scanners intra-orais. Estes utilizam diferentes tecnologias ópticas, como a microscopia confocal, a tomografia de coerência ótica e a estereovisão, entre outras. Estes

avanços conduziram a uma melhoria acentuada da eficácia e da precisão das impressões dentárias, melhorando a exatidão dos diagnósticos e oferecendo tratamentos mais adaptados. Além disso, enquanto alguns sistemas oferecem funcionalidades avançadas, como a deteção de cáries ou a captura de imagens a cores, outros destacam-se pela sua velocidade de digitalização, pela sua capacidade de facilitar um fluxo de trabalho digital completo ou pela sua capacidade de fresagem no consultório para o fabrico direto de próteses.

Estas várias características realçam o facto de cada sistema ter as suas próprias vantagens, adaptadas às necessidades ou preferências específicas de cada medico dentista. A tabela em anexo (Anexo III) resume as características específicas de cada scanner, fornecendo uma visão geral comparativa que destaca as vantagens de cada scanner intra-oral.

3. Impacto e Desafios

O advento da imagem 3D na medicina dentária representa uma verdadeira revolução nos cuidados dentários. Oferece inúmeras vantagens, conduzindo a abordagens revolucionárias de diagnóstico e terapêutica que eram inimagináveis há apenas algumas décadas. No entanto, apesar destes avanços notáveis, há uma série de limitações à incorporação da imagiologia 3D na prática dentária quotidiana. Estas limitações incluem aspectos económicos, técnicos e éticos. Assim, embora reconhecendo os muitos benefícios oferecidos pela imagiologia 3D, é essencial considerar também as suas limitações, de modo a ter uma visão global do seu impacto na medicina dentária.

3.1 As vantagens da Imagiologia 3D

A imagiologia 3D está a desempenhar um papel importante na melhoria do diagnóstico e do planeamento do tratamento na área da medicina dentária. As impressões digitais permitem uma melhoria considerável na precisão da produção de peças de proteção, tais como coroas de cerâmica unitárias. Como resultado, os erros podem ser reduzidos e os resultados do tratamento otimizados. A qualidade e a eficácia do tratamento dentário foram consideravelmente melhoradas graças a esta precisão de diagnóstico. Este novo tipo de impressão permite intervenções cada vez mais preventivas e tratamentos personalizados, respondendo mais especificamente às necessidades de cada paciente. De facto, o facto de visualizar com precisão as estruturas orais na sua totalidade

aumenta a identificação de problemas numa fase precoce, reduzindo a complexidade e a duração dos tratamentos necessários (Joda & Gallucci, 2015; Manisha et al., 2023).

A utilização da imagiologia 3D conduz a intervenções clínicas mais direcionadas e menos invasivas. A precisão da imagiologia 3D permite aos dentistas planear com exatidão a abordagem cirúrgica, minimizando os danos nos tecidos adjacentes e reduzindo o tempo de recuperação dos pacientes. Esta precisão minimamente invasiva não só melhora os resultados estéticos, como também assegura uma funcionalidade ótima dos tratamentos aplicados, proporcionando aos pacientes uma qualidade de vida significativamente melhorada (Joda & Gallucci, 2015).

A capacidade da imagiologia 3D para personalizar os cuidados é uma das suas vantagens mais importantes. A sobreposição precisa de exames faciais e intra-orais pode ser utilizada para criar uma representação virtual exacta do paciente. Ao explorar os detalhes precisos fornecidos por esta tecnologia, podem ser obtidos modelos virtuais exactos, permitindo que as intervenções sejam adaptadas às necessidades do paciente. Os profissionais podem desenvolver planos de tratamento perfeitamente adaptados à anatomia única de cada doente. Esta abordagem personalizada é particularmente importante no domínio da prótese dentária, onde o ajuste e a estética das próteses devem ser cuidadosamente adaptados às necessidades individuais. Os cuidados personalizados vão para além da mera estética, devendo abranger também a funcionalidade e o conforto do paciente (Joda & Gallucci, 2015; Piedra-Cascón et al., 2021).

Por último, a imagiologia 3D influenciou profundamente a comunicação entre os médicos e os doentes. As visualizações tridimensionais ajudam os pacientes a visualizar e, por conseguinte, a compreender o seu próprio caso e as intervenções propostas, tornando os diagnósticos e os planos de tratamento muito mais compreensíveis para eles. Esta compreensão encoraja uma maior aceitação dos tratamentos propostos e ajuda a estabelecer uma relação de confiança entre o paciente e o profissional de saúde dentária (Piedra-Cascón et al., 2021).

3.2 As limitações da Imagiologia 3D

O custo elevado do equipamento de imagiologia 3D, embora extremamente vantajoso, constitui um obstáculo à utilização generalizada da medicina dentária digital. De facto, representa um investimento considerável, em primeiro lugar para a aquisição,

mas também para a manutenção destas tecnologias, actualizações de software e formação do pessoal. O acesso a estas tecnologias continua a ser difícil em regiões com recursos limitados (Rekow, 2020).

A adoção da imagiologia 3D exige não só um investimento financeiro, mas também competências técnicas especializadas e uma formação aprofundada. De facto, a utilização optimizada destas tecnologias exige uma compreensão aprofundada e competências técnicas especializadas. Além disso, a formação contínua está a tornar-se uma necessidade para dominar estas ferramentas complexas, o que representa um desafio para os profissionais já sobrecarregados (Revilla-León et al., 2020).

Embora a imagiologia 3D ofereça muitas vantagens em termos de diagnóstico e planeamento do tratamento, subsistem algumas limitações técnicas. A resolução da imagem, as condições de luminosidade e a capacidade de captar com precisão detalhes anatómicos finos variam entre equipamentos e podem não ser suficientes em alguns casos, o que pode ter um impacto na precisão dos dados obtidos. Apesar dos avanços significativos na imagiologia 3D, a qualidade da imagem e as capacidades de resolução continuam a ser áreas que requerem uma melhoria contínua. Além disso, algumas anomalias podem não ser totalmente visíveis ou podem ser mal interpretadas utilizando as imagens 3D actuais. É então necessário recorrer a abordagens complementares para finalizar o diagnóstico (Joda & Gallucci, 2015; Revilla-León et al., 2020).

O crescimento da utilização da imagiologia 3D no domínio da medicina dentária suscita grandes preocupações relativamente a uma série de questões éticas. Por um lado, a gestão dos dados dos pacientes, de dimensão considerável, representa um desafio importante em termos de confidencialidade e segurança. É essencial adotar medidas avançadas de segurança informática para proteger estas informações sensíveis de potenciais violações, que podem levar a um aumento da complexidade do sistema e dos custos para as clínicas dentárias.

Além disso, em termos de ética, colocam-se questões de consentimento informado. Os pacientes têm de estar plenamente conscientes dos benefícios, riscos e alternativas associados à utilização destas tecnologias. Este requisito reforça a responsabilidade dos profissionais de saúde de garantir que os seus pacientes estão bem informados, acrescentando um encargo adicional à prática clínica (Revilla-León et al., 2020).

4. Perspectivas futuras

4.1 Integração da IA na imagiologia 3D

Nos próximos anos, assistir-se-á a grandes avanços na precisão e na velocidade dos sistemas de digitalização 3D, que são essenciais para o diagnóstico e o planeamento de tratamentos. As tecnologias 3D estão a evoluir paralelamente com a inteligência artificial (IA). Atualmente, a fusão das duas oferece uma visão de análises ainda mais avançadas e destina-se a resolver problemas clínicos específicos. No futuro, prevê-se a sua integração num sistema de fluxo de trabalho clínico inteligente. Isto permitiria a análise automática de dados completos do paciente para permitir cuidados dentários personalizados mais avançados, oferecendo simultaneamente diagnósticos e planos de tratamento interdisciplinares mais exatos e sendo capaz de prever os resultados do tratamento. A IA poderia mesmo ser utilizada para detetar anomalias difíceis de detetar a olho nu, com maior rapidez e precisão do que um profissional de saúde, como a identificação automática de patologias quísticas/císticas. No entanto, estes sistemas de IA de altíssima tecnologia ainda não estão disponíveis no mercado, uma vez que ainda há melhorias a efetuar (Hung et al., 2020; Watanabe et al., 2022).

4.2 3D virtual dental patient

O desenvolvimento de tecnologias de imagiologia 3D está a transformar radicalmente o planeamento de implantes e restaurações dentárias. Ao combinar a tomografia computadorizada de feixe cónico (CBCT), a estereofotogrametria (uma técnica fotogramétrica que utiliza várias fotografias tiradas em diferentes ângulos da face externa para criar modelos tridimensionais, utilizados para obter reconstruções 3D precisas da face) e os scanners intra-orais, podemos agora reconstruir com precisão a anatomia do paciente, criando modelos virtuais precisos do paciente, também conhecidos como "pacientes dentários virtuais 3D". Estes modelos permitem simular intervenções cirúrgicas e planear tratamentos de uma forma mais eficaz e personalizada. A precisão proporcionada por este sistema permite determinar a posição ideal para os implantes dentários, minimizando os riscos cirúrgicos e melhorando os resultados do tratamento. Estes modelos facilitam a comunicação entre os diferentes especialistas envolvidos no

tratamento, permitindo uma abordagem colaborativa e coerente. Quanto aos futuros avanços tecnológicos na imagiologia 3D, como a estereofotogrametria, a CBCT e os scanners, espera-se que continuem a desenvolver-se. Oferecerão resoluções mais elevadas e visualizações mais pormenorizadas a custos reduzidos e com menos radiação para os pacientes. Estas melhorias facilitarão o acesso e a utilização da imagiologia 3D na prática quotidiana, e não apenas em casos complexos (Grippaudo, 2022; Joda & Gallucci, 2015; Revilla-León et al., 2022).

III. Evolução da Impressão 3D

1. Desenvolvimento Tecnológico

A impressão 3D, também conhecida pelo nome de fabrico aditivo, é uma técnica de fabrico que consiste em sobrepor sucessivamente camadas de material com base num modelo numérico. Este termo, emergente nos últimos tempos, desempenha um papel crucial na evolução da odontologia. Ao contrário das técnicas subtrativas tradicionais, em que a matéria é retificada para criar o objeto, a impressão 3D permite criar estruturas mais complexas que antes eram difíceis de realizar com outros métodos (Dawood et al., 2015; Jeong et al., 2023).

A história da impressão 3D foi iniciada pelos trabalhos pioneiros de Charles Hull em 1983, que realizou o primeiro objeto tridimensional por estereolitografia. Foi essencialmente durante a década de 1990 que esta tecnologia se impôs. De facto, foi em 1999 que o primeiro paciente foi tratado com a ajuda da impressão 3D, ilustrando assim a sua adoção na prática médica corrente. Desde esse avanço, a impressão 3D foi-se integrando progressivamente nos fluxos de produção de laboratórios dentários e clínicas, onde agora permite não só a prototipagem, mas também a fabricação de peças finais e estruturas com resistências à flexão (capacidade de um material de suportar uma certa quantidade de stress ou força antes de se dobrar ou quebrar. Em contexto de engenharia e materiais, a resistência à flexão é um indicador da rigidez e robustez de um material quando submetido a uma força de flexão) superiores a 80 MPa (Dawood et al., 2015; Nulty, 2021a).

A impressão 3D é utilizada em diferentes áreas, tais como a medicina espacial, o automóvel e os dispositivos eletrónicos de grande público. Mais precisamente, no domínio da medicina, a utilização da impressão 3D impulsionou o fabrico de implantes à medida em áreas como a ortopedia, a cardiologia e a medicina dentária. Destacam-se, em particular, os avanços como os ossos implantáveis, os cages torácicos e as válvulas cardíacas.

A popularidade crescente da impressão 3D em medicina dentária é visível através do aumento das publicações científicas, demonstrando a importância crescente desta

tecnologia. Os domínios da medicina dentária e da odontologia são os mais utilizados atualmente, o que leva os médicos a optimizarem cada vez mais esta tecnologia. Nestes dois domínios, a aplicação da impressão 3D é múltipla. Ela é apresentada a nível experimental, clínico e pedagógico (Dawood et al., 2015; Nulty, 2021a; Oberoi et al., 2018)

Os dentistas utilizam a impressão 3D para realizar guias cirurgias, modelos físicos para prótese dentária, ortodontia e cirurgia, bem como para a produção de implantes dentários e craniomaxilo-faciais. Serve igualmente para a produção de coroas sobre implante . Além disso, é capaz de fabricar guias cirúrgicas personalizadas, tornando os procedimentos menos invasivos e os resultados mais previsíveis (Dawood et al., 2015; Kim et al., 2018; Nulty, 2021).

1.1 Técnica aditiva versus técnica subtrativa

Existem dois tipos de técnicas opostas quando se trata de fabricar peças ou implantes dentários utilizando novas tecnologias: o método subtrativo e o método aditivo. O fabrico subtrativo está mais difundido e é utilizado há mais tempo em medicina dentária. Esta técnica consiste em retirar material de um bloco pré-existente para dar forma ao objeto final desejado. É por isso que o método também é conhecido como "fresagem". São utilizados diferentes tipos de fresas consoante o material a fresar. As brocas de diamante são geralmente utilizadas para cerâmica de vidro, enquanto as brocas de carboneto são utilizadas para zircónio ou materiais poliméricos. Recentemente, a Dentsply Sirona alterou os termos utilizados no seu software para descrever a sua abordagem subtrativa. O termo "fresagem" é agora utilizado para as brocas de carboneto, enquanto "retificação" é utilizado para CAM com brocas de diamante. Esta técnica é utilizada nos consultórios dentários para a produção de facetas, inlays, coroas e pontes, utilizando tecnologias de conceção e fabrico assistidas por computador (CAD/CAM). No entanto, este método tem algumas limitações, nomeadamente no que diz respeito ao fabrico de estruturas de grandes dimensões, como arcadas dentárias completas, em que a maquinaria pode revelar-se impraticável. Está também associado a uma elevada taxa de desperdício de material, com alguns relatórios a indicarem que até 90% do material original pode ser perdido. O tamanho das ferramentas de corte também pode afetar o acabamento da superfície das restaurações, o que representa um desafio adicional para a manutenção da

qualidade das restaurações dentárias (Alharbi et al., 2018; Dawood et al., 2015; Nulty, 2021; Watanabe et al., 2022).

O método de fabrico aditivo, também conhecido por vários nomes, como impressão 3D, prototipagem rápida, montagem em camadas ou criação de formas livres sólidas, envolve a acumulação sucessiva de camadas de material sob controlo automatizado para formar um objeto tridimensional. Esta técnica corta a estrutura 3D virtual em camadas bidimensionais de tamanho específico, que a impressora 3D monta depois uma a uma para formar a estrutura geométrica final. Na medicina dentária, predominam duas tecnologias de impressão aditiva: a estereolitografia (SLA) e a sinterização direta de metal a laser (DMLS). A SLA é utilizada principalmente para produzir alinhadores, enquanto a DMLS é utilizada para fabricar coroas metálicas e estruturas de próteses. As vantagens do fabrico aditivo em relação ao fabrico subtrativo incluem uma utilização mais eficiente do material com menos desperdício, a capacidade de eliminar alguns procedimentos manuais, a flexibilidade da máquina para reproduzir estruturas de objectos grandes e complexas e uma grande variedade de materiais. Embora o fabrico aditivo ofereça vantagens consideráveis e esteja a progredir a grande velocidade, tem algumas restrições, nomeadamente no que diz respeito à estética dos objectos finais devido à sobreposição de camadas e à durabilidade a longo prazo dos materiais biocompatíveis, que atualmente se limitam aos polímeros e aos metais. No entanto, com os rápidos avanços tecnológicos, é provável que estas limitações sejam rapidamente ultrapassadas. O fabrico aditivo representa assim um avanço significativo em relação às técnicas subtrativas, beneficiando dos constantes avanços nas tecnologias de impressão 3D e oferecendo maior rapidez, precisão e funcionalidade (Dawood et al., 2015; Nulty, 2021b).

1.2 Localização da produção

As práticas de produção nos consultórios dentários foram profundamente transformadas com a introdução do sistema CEREC em 1985, que inaugurou uma nova era de produção dentária diretamente na cadeira do paciente. Este sistema é conhecido como "chairside". Todo o processo de fabrico é gerido por este sistema, que inclui um scanner, um software de desenho e uma unidade de fresagem. Isto permite-lhe gerir a sinterização, a cristalização e o acabamento, como a pigmenteação e o glaze. Os modelos

Primescan AC e Emerald S da CEREC, da Dentsply Sirona de Charlotte, na Carolina do Norte, e da Planmeca, com sede em Helsínquia, na Finlândia, estabeleceram-se como referências fundamentais no mercado. Estes sistemas são particularmente atrativos para as escolas de medicina dentária, que os adotam devido à sua facilidade de utilização e à precisão que conferem à preparação dos dentes devido à sua conceção simplificada em comparação com os equipamentos tradicionais de laboratório dentário. Este método de trabalho é utilizado principalmente quando o tratamento requer apenas uma peça de base. Ao mesmo tempo, o fabrico em laboratório dentário evoluiu com a adoção das tecnologias digitais. É o método de produção mais utilizado atualmente. As impressões, físicas ou digitais, são enviadas pelos dentistas para os laboratórios onde as restaurações são efectuadas utilizando equipamento CAD/CAM. Com este método de produção, os dentistas evitam a aquisição de equipamentos dispendiosos e beneficiam das vantagens da digitalização, como o aumento da precisão e a possibilidade de retoque manual por técnicos qualificados para obter um resultado final de excelente qualidade. Trata-se de uma vantagem importante, nomeadamente para as restaurações que exigem retoques precisos, que podem ser efectuados pelo próprio técnico dentário.

O mais recente método de produção é o fabrico centralizado. Este método liga os scanners do laboratório dentário a um centro de produção central. Este centro analisa as informações dos desenhos das restaurações e fabrica as peças, que são depois distribuídas aos laboratórios em causa. Este sistema tem um círculo de vantagens: por um lado, evita que os laboratórios tenham de investir em equipamento demasiado caro e, por outro, reúne recursos para uma maior eficiência. É ideal para tratar casos complexos que envolvem numerosas coroas e implantes, melhorando simultaneamente o processo de fabrico com tecnologias avançadas (Watanabe et al., 2022).

2. Técnica de impressão 3D

2.1 Estereolitografia (SLA)

A estereolitografia (SLA) é uma das tecnologias de impressão 3D mais antigas e mais conhecidas. Funciona com base no princípio da fotopolimerização. Um laser ultravioleta move-se metodicamente através de um tabuleiro (bac) que contém uma resina fotossensível, curando a resina camada a camada de acordo com um modelo predefinido

por desenho assistido por computador (CAD). O processo começa com a ativação do laser, que visa e ilumina a camada superior de resina fotossensível localizada num tabuleiro. Esta resina reage à luz do laser, endurecendo quase instantaneamente (Al-Imam et al., 2018; Nulty, 2021a). Uma vez solidificada cada camada, a plataforma de construção desempenha o seu papel. A plataforma, que suporta o objeto a fabricar, desce até uma altura calibrada com precisão. Este movimento permite que uma nova camada de resina líquida se espalhe uniformemente sobre a superfície solidificada, preparando o terreno para a formação da camada seguinte (Jeong et al., 2023). A cada descida da plataforma segue-se uma nova exposição ao laser, que solidifica a nova camada, conferindo gradualmente volume e forma ao objeto em construção. Durante o processo de impressão SLA, são criadas estruturas de suporte para garantir a estabilidade e integridade das partes que se estendem ou que estão suspensas. Esses suportes são fundamentais para combater a gravidade e facilitar a aplicação de camadas subsequentes. No final do processo, esses suportes são cuidadosamente removidos e o objeto é submetido a uma cura UV para fortalecer a estrutura final (Dawood et al., 2015).



Figura 11 Modelo criado por Estereolitografia (Nulty, 2021a)

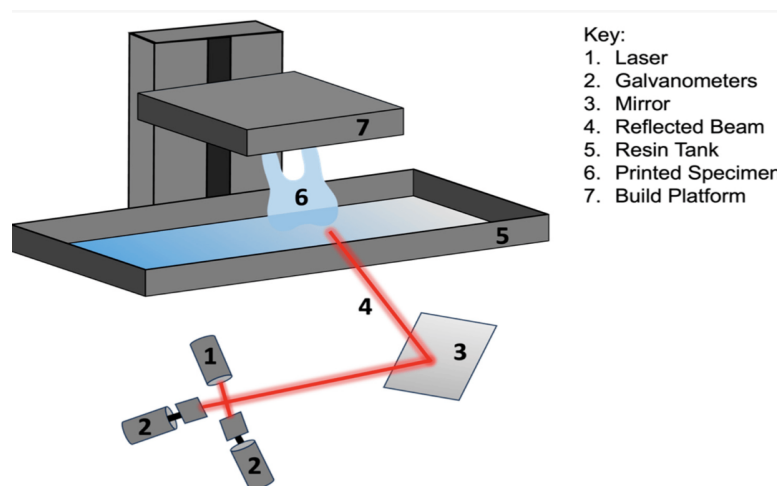


Figura 12 Esquema funcional da Estereolitografia (Jeong et al., 2023)

O laser pode atingir áreas específicas do tabuleiro de resina com grande precisão, graças aos galvanómetros. Trata-se de dois motores que controlam os eixos X e Y. Estes coordenam os seus movimentos para ajustar dois espelhos que dirigem o feixe de laser através da área de impressão do tabuleiro de resina. Garantem que cada camada corresponde perfeitamente ao modelo digital. A orientação da construção e a espessura das camadas desempenham um papel crucial, uma vez que têm um impacto direto nas características mecânicas e na precisão dimensional dos objectos impressos (Alharbi et al., 2019; Dawood et al., 2015).

Ao longo dos anos, os avanços tecnológicos conduziram a melhorias significativas nas impressoras SLA, tornando as máquinas mais compactas, menos dispendiosas e mais eficientes. Estes avanços permitiram também reduzir a quantidade de resina necessária e a porosidade dos produtos acabados, dois aspectos particularmente benéficos em domínios exigentes como a medicina dentária (Nulty, 2021a).

O SLA é altamente valorizado na medicina dentária pela sua capacidade de criar designs personalizados que satisfazem com precisão as necessidades individuais dos pacientes. É frequentemente utilizado para produzir coroas temporárias e permanentes, pontes, guias cirúrgicos, modelos e moldes de diagnóstico. Embora a SLA seja relativamente lenta, atinge uma elevada precisão, o que é essencial se as margens de erro forem mantidas num nível mínimo (Anadioti et al., 2020; Jeong et al., 2023).

2.2 Processamento Digital de Luz (DLP)

O Processamento Digital de Luz (DLP) é uma tecnologia de fabrico aditivo que, tal como a estereolitografia (SLA), utiliza a luz para curar resinas sensíveis à luz. No entanto, ao contrário da SLA, que utiliza um laser para curar a resina camada a camada, o DLP utiliza ecrãs de projecção ou lâmpadas de arco. Este método projecta uma imagem de cada camada inteira sobre a resina de uma só vez, acelerando significativamente o processo de cura. Esta capacidade de curar uma camada inteira numa única exposição à luz torna a DLP extremamente rápida em comparação com a técnica SLA, que tem de digitalizar cada camada ponto a ponto (Nulty, 2021a; Prasad et al., 2018).

No entanto, a resolução da DLP é limitada pelo tamanho dos voxels, que são os equivalentes tridimensionais dos pixéis numa imagem digital. Quanto mais pequeno for

o voxel, mais fino é o detalhe e mais suave é a superfície do objeto acabado. Por outro lado, voxels maiores podem tornar o objeto acabado mais grosseiro e menos detalhado. Por conseguinte, dependendo do tamanho do voxel, o sistema DLP pode fornecer uma imagem menos precisa do que o sistema SLA, ou uma imagem mais precisa. Assim, embora a DLP ofereça resultados rápidos e fiáveis, pode por vezes comprometer a precisão em comparação com a SLA. A escolha entre DLP e SLA depende, portanto, das prioridades específicas de cada projeto, tendo cada tecnologia os seus próprios pontos fortes e fracos que podem afetar a qualidade do objeto impresso (Al Hamad et al., 2022; Jeong et al., 2023).

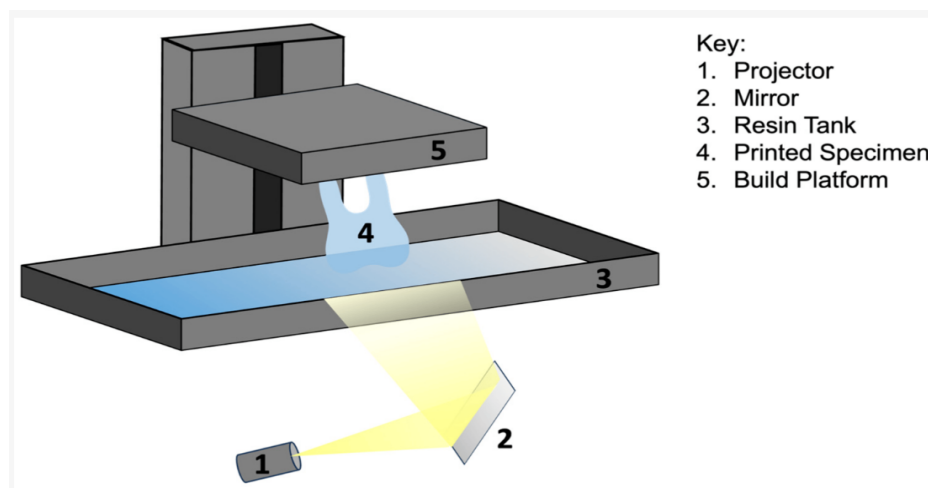


Figura 13 Esquema funcional do Processamento Digital de Luz (Jeong et al., 2023)

2.3 Jato de fotopolímero (Photopolymer jetting)

O jato de fotopolímero, também conhecido como PolyJet ou um sistema baseado em tinta, como o SLA e o DLP, utiliza a luz para curar a resina e construir modelos 3D camada a camada a partir de desenhos digitais. O que distingue o PolyJet na medicina dentária é a sua capacidade de imprimir em várias cores, utilizando cabeças de impressão semelhantes às das impressoras de jato de tinta convencionais para aplicar um agente de fusão ao pó de polímero. Este processo não só derrete o pó, como também o solidifica sob o efeito da luz infravermelha. Por um lado, isto facilita o fabrico de componentes multicoloridos, que são particularmente benéficos na medicina dentária estética. Por outro lado, cria componentes multimateriais, permitindo variar as propriedades físicas dos objectos impressos, o que constitui uma grande vantagem para as aplicações ortodônticas

que requerem elementos simultaneamente rígidos e flexíveis. É possível obter geometrias complexas e detalhes extremamente precisos, com resoluções de até 16 MICRÓMETROS.

No entanto, apesar destas vantagens, a tecnologia PolyJet exige um investimento inicial, bem como custos de funcionamento elevados e uma manutenção rigorosa das cabeças de impressão, que podem entupir facilmente. Além disso, as propriedades mecânicas dos materiais utilizados são frequentemente insuficientes para aplicações duradouras no ambiente oral, para não mencionar o facto de os materiais de suporte serem difíceis de remover, o que pode tornar o processo de acabamento pós-impressão menos agradável e mais moroso. No entanto, o potencial desta tecnologia para transformar a indústria dentária é considerável, particularmente através da sua capacidade de produzir coroas provisórias e modelos dentários altamente estéticos. Esta tecnologia pode oferecer também uma solução rápida e económica em alguns casos, como para construções de baixo volume, no caso da produção de guias de perfuração para implantes, por exemplo (Chen et al., 2022; Dawood et al., 2015; Jeong et al., 2023).

2.4 Sinterização seletiva a laser (SLS)

A sinterização seletiva a laser (SLS) é uma técnica de impressão 3D de ponta que é particularmente popular no campo da prótese dentária. Apareceu pela primeira vez nos anos 80, o procedimento começa com a aplicação de uma camada de pó numa superfície. Um laser, com controle digital, sinteriza (derrete logo abaixo do seu ponto de fusão) este pó em camadas, criando gradualmente o objeto desejado. O laser solidifica o pó em cada fase, seguindo o padrão pré-estabelecido e assegurando que cada nova camada adere firmemente à anterior. Durante a impressão, o pó não sinterizado atua como suporte do objeto, eliminando a necessidade de estruturas de apoio (Han et al., 2019; Prasad et al., 2018).

A SLS é valorizada pela sua capacidade de adaptação a diferentes materiais, utilizando termoplásticos como a cera de fundição, metais, cerâmicas e outros compósitos (nylon). Ao incorporar materiais avançados, como a poliéter-éter-cetona (PEEK), conhecida pela sua resiliência e propriedades térmicas, pode ser utilizada para criar designs robustos e duradouros. Isto torna-o ideal para aplicações funcionais em que a resistência é crucial, tais como modelos de estudo anatómico, guias de corte e perfuração, modelos dentários

e protótipos de engenharia/design. Este método também oferece uma elevada precisão, permitindo uma personalização alargada dos produtos finais, bem como uma produção extremamente rápida, tornando-o ideal para a produção em massa de produtos dentários (Dawood et al., 2015; Jeong et al., 2023).

Apesar de todas estas vantagens, esta tecnologia tem os seus inconvenientes. O investimento inicial e os custos de manutenção são elevados. Além disso, a utilização de pós pode ser perigosa para a saúde, exigindo medidas de precaução para evitar explosões acidentais e a inalação de poeiras. O processo de acabamento, por sua vez, é complexo, exigindo uma remoção meticulosa dos resíduos de pó para evitar a contaminação e garantir a qualidade do produto acabado. Embora a instalação da máquina seja fácil, é o equipamento de acabamento que ocupa muito espaço (Dawood et al., 2015; Jeong et al., 2023).

2.5 Modelação por filamento fundido (FDM)

A modelação por filamento fundido (FDM), introduzida pela primeira vez em 1999, é uma técnica de impressão 3D muito utilizada em consultórios dentários, sendo mesmo designada por "impressoras domésticas". Neste processo, um filamento de material termoplástico é aquecido até se tornar semi-líquido. De seguida, um bico extrusa este material seguindo coordenadas precisas para depositar o material camada a camada. A solidificação rápida (0,1 segundos) de cada camada cria uma ligação sólida com a camada anterior. Durante este processo, uma extrusora passa através de uma plataforma estacionária ou vice-versa. O ácido poliláctico, um polímero biodegradável, é frequentemente utilizado neste processo.

A precisão será influenciada pela velocidade a que a extrusora se move, bem como pelo caudal de material e pelo tamanho de cada "passo". É assim que funciona a maior parte das impressoras 3D domésticas de baixo custo. (Cailleaux et al., 2021; Dawood et al., 2015)

A FDM é considerada rápida e relativamente económica, no entanto, requer frequentemente estruturas de suporte para peças complexas ou extremamente altas. Podem criar modelos anatómicos simples, mas não demasiado complexos. Por exemplo, imprimir um maxilar desdentado seria viável, mas um maxilar pormenorizado seria mais difícil. O FDM é utilizado na medicina para conceber modelos anatómicos, guias

cirúrgicas e para fins farmacêuticos. Embora o FDM tenha as suas vantagens, existem dificuldades, como o manuseamento de materiais termoplásticos, a necessidade de pós-processamento e as suas limitações em termos de precisão para determinadas aplicações dentárias e médicas (Dawood et al., 2015; Khorsandi et al., 2021).

2.6 Impressoras à base de pó (PBP)/ Powder Binder Jetting

As impressoras à base de pó (PBP) são uma tecnologia de impressão 3D que se distingue pela utilização de uma cabeça de impressão a jato de tinta modificada. Esta tecnologia lança gotículas de líquido, normalmente uma mistura colorida à base de água, sobre uma massa de pó, principalmente gesso de Paris. Este processo é efectuado camada a camada, tal como noutros processos de impressão 3D. O pó que não foi infiltrado pelo aglutinante mantém a estrutura do objeto, evitando a utilização de materiais de suporte, como já se viu com a técnica SLS. No entanto, é essencial efetuar um pós-tratamento, normalmente utilizando resinas de cianoacrilato ou epóxi, para reforçar a resistência mecânica e melhorar a dureza da superfície dos modelos impressos. Apesar destes tratamentos posteriores, os modelos produzidos continuam a ser relativamente frágeis. Há alguns anos, a sua utilização limitava-se a protótipos visuais ou a modelos de estudo. Atualmente, são capazes de produzir próteses maxilofaciais de cor inigualável, como demonstram alguns artigos. Estas ainda são frágeis, mas são extremamente finas e agradáveis para o paciente, o que as torna um avanço prometedora. Além disso, este método é menos dispendioso do que outros, mas também não é acessível (Dawood et al., 2015; Jeong et al., 2023; Lee et al., 2022).

2.7 Bioimpressão tridimensional a laser/ Laser Bioprinting (LAB)

A tecnologia de bioimpressão tridimensional a laser (LAB) é um dos avanços mais recentes. Representa uma combinação revolucionária de métodos de fabrico aditivo e inovações biotecnológicas. Desempenha um papel importante na criação de tratamentos regenerativos em medicina dentária. Utilizando técnicas laser de alta precisão, a LAB oferece a possibilidade de montar, camada a camada, elementos biológicos como células vivas e vários biomateriais. Este método inovador permite desenvolver estruturas tecidulares destinadas a restaurar o tecido periodontal, aumentar o volume ósseo e

restaurar a mucosa oral. Em suma, a bioimpressão 3D a laser distingue-se pela sua capacidade de revolucionar o sector dos cuidados dentários (Ahn et al., 2016; Jeong et al., 2023).

3. Materiais de impressão CAD/CAM

Neste contexto, Fasbinder e colegas (2018) propuseram uma classificação útil de blocos CAD/CAM, que está a revelar-se valiosa para os profissionais, embora difira das classificações tradicionais baseadas na ciência dos materiais cerâmicos: cerâmicas resilientes, compósitos, materiais provisórios, cerâmicas adesivas, cerâmicas de alta resistência e zircónia (Watanabe et al., 2022).

As cerâmicas, em geral, utilizadas nas restaurações dentárias são apreciadas pelas suas excelentes propriedades mecânicas, compatibilidade biológica e resistência ao desgaste e à corrosão, que também contribuem para resultados estéticos favoráveis. Estas cerâmicas dividem-se em várias categorias distintas. O fabrico aditivo destes materiais coloca desafios, principalmente devido às suas elevadas temperaturas de fusão, que podem levar à formação de fissuras durante o arrefecimento. As variações na composição das matérias-primas também afectam a sua porosidade e propriedades mecânicas finais, exigindo um estudo mais aprofundado para aperfeiçoar a sua aplicação clínica (Tsolakis et al., 2022; Valenti et al., 2022).

3.1 Cerâmicas adesivas

Na década de 1980, as cerâmicas adesivas foram utilizadas nos primeiros sistemas CAD/CAM, oferecendo uma solução estética e translúcida para os cuidados dentários. Inicialmente, estes materiais, como os blocos CEREC e VITABLOCKS, eram os únicos disponíveis. São muito resistentes, com uma taxa de sobrevivência das coroas de 95% num período de 12 anos. Embora sejam menos resistentes à flexão do que outras cerâmicas, continuam a ser muito utilizados para facetas e restaurações parciais. A utilização de cerâmicas feldspáticas, muito comum no início da era digital, mostrou limites em termos de resistência. Isto levou à inovação e ao desenvolvimento de materiais com uma fase cristalina mais elevada, como as cerâmicas vítreas de dissilicato de lítio e

as cerâmicas de silicato de lítio reforçadas com zircónio, que são discutidas abaixo (Blatz & Conejo, 2019; Watanabe et al., 2022)

3.2 Materiais poliméricos

Os materiais poliméricos nos sistemas CAD/CAM incluem cerâmicas resilientes, compósitos e materiais temporários. Eles são os materiais mais utilizados em medicina dentária, principalmente devido ao seu preço acessível e à diversidade das suas propriedades e utilizações. Estes materiais são também conhecidos como nanocerâmicas, cerâmicas híbridas ou materiais de rede cerâmica-infiltrada-polímero. É importante distinguir entre materiais poliméricos e híbridos. Um material polimérico é definido como uma substância composta por longas cadeias de moléculas denominadas polímeros (monómeros repetitivos). Um material polimérico pode ser puro, composto apenas por polímeros, ou pode ser um material híbrido quando combina polímeros com outros tipos de materiais, tais como cargas minerais ou fibras, para melhorar algumas das suas propriedades. Por conseguinte, as cerâmicas resilientes são sempre híbridas (matriz de resina enriquecida com uma elevada concentração de cargas cerâmicas), ao contrário dos compósitos, que podem ser constituídos unicamente por polímeros, por vezes com uma pequena carga mineral, ou eventualmente com uma grande carga, o que os torna compósitos híbridos. A principal vantagem dos materiais híbridos é a sua capacidade de oferecer uma boa resiliência e durabilidade, ao mesmo tempo que são menos rígidos do que as cerâmicas puras, tornando-os menos susceptíveis de causar danos aos dentes opostos durante a mastigação. Isto não os impede de ter testes laboratoriais mais do que aceitáveis. São também mais fáceis de manusear e ajustar na cadeira dentária do que a cerâmica pura, tornando-os muito populares para aplicações como inlays, onlays, coroas e algumas facetas. Foi utilizado um protocolo de adesão rigoroso para resolver os problemas iniciais de delaminação, incluindo um tratamento preliminar de abrasão com óxido de alumínio (Spitznagel et al., 2020; Watanabe et al., 2022; Zimmermann et al., 2018).

3.3 Compósitos

Os compósitos dentários, normalmente utilizados em sistemas CAD/CAM como

o Paradigm MZ100 da 3M, desempenham um papel crucial nas restaurações modernas. Foram introduzidos após a introdução dos blocos feldspáticos, para o fabrico de inlays e onlays. São valorizados pela sua acessibilidade e versatilidade, o que os torna particularmente adequados para uma vasta gama de tratamentos dentários. Estes compósitos incorporam frequentemente nanocerâmicas ou materiais híbridos* (partículas de vidro ou outros tipos de reforço pouco dispendiosos) para melhorar as suas propriedades mecânicas e estéticas, permitindo que as restaurações se misturem perfeitamente com os dentes naturais. Os compósitos oferecem a vantagem de uma adaptação precisa e de um acabamento suave, o que é essencial para o conforto e a estética. Para além disso, a introdução de compósitos híbridos e de materiais baseados em resinas CAD/CAM enriqueceu esta categoria, combinando flexibilidade e resiliência para imitar mais de perto o módulo de elasticidade da dentina, ao mesmo tempo que oferecem maior resistência à propagação de fissuras, tornando-os ideais para procedimentos clínicos menos invasivos (Cristian, 2017; Watanabe et al., 2022).

3.4 Cerâmicas resilientes

As primeiras cerâmicas resilientes foram introduzidas em 2011 pela LAVA Ultimate e pela 3M. Elas são especificamente concebidas para oferecer uma combinação ótima de resistência e estética em aplicações dentárias. São constituídas por uma matriz de resina enriquecida com uma elevada concentração de cargas cerâmicas, o que as distingue dos compósitos híbridos que também contêm cargas inorgânicas, mas em proporções diferentes. Estas cerâmicas resilientes são particularmente valorizadas pela sua capacidade de imitar a aparência dos dentes naturais, ao mesmo tempo que oferecem uma maior resistência ao desgaste e às forças mastigatórias, próxima da cerâmica pura. São ideais para coroas, inlays e onlays, e particularmente para restaurações anteriores e outras áreas visíveis onde a estética é primordial sem comprometer a durabilidade (Cristian, 2017; Watanabe et al., 2022).

3.5 Materiais temporários

Os materiais temporários utilizados nos sistemas CAD/CAM, tais como os blocos PMMA como o Telio CAD, os polyetheretherketon (PEEK) e os blocos multicoloridos

VITA CAD-Temp, são essenciais para as restaurações dentárias temporárias. Estes blocos são particularmente apreciados pela sua estética e resistência, tornando-os adequados para utilização temporária enquanto se aguarda a instalação de soluções definitivas. Estes materiais evoluíram ao longo do tempo e, atualmente, apresentam uma maior densidade, porosidade reduzida, superfícies mais lisas e propriedades ópticas melhoradas. Isto torna-os mais fáceis de maquinar e polir, permitindo-lhes integrarem-se mais facilmente nos dentes existentes. Um estudo demonstrou que têm propriedades físicas mais fracas do que as soluções temporárias convencionais, mas cumprem as normas ISO. Proporcionam uma transição suave e prática para a restauração definitiva (Cristian, 2017; Jeong et al., 2023; Watanabe et al., 2022).

3.6 Cerâmicas de alta resistência

As cerâmicas de alta resistência foram desenvolvidas para resolver o problema da baixa resistência das cerâmicas convencionais. Para o conseguir, têm uma fase cristalina maior. Incluem o dissilicato de lítio (IPS emaxCAD da Ivoclar Vivadent), o silicato de lítio reforçado com zinco (Celtra Duo da Dentsply Sirona e Suprinity da Vita) e o dissilicato de lítio avançado (CEREC Tessera da Dentsply Sirona). São os materiais cerâmicos mais reconhecidos para restaurações em consultório. A robustez destes materiais é notável, com uma resistência à flexão entre 400 e 500 MPa, e taxas de sobrevivência clínica de 97% após dois anos e 99% após cinco anos. A sua resistência física torna-os adequados para coroas posteriores, onde a mastigação é intensa. Estas cerâmicas são também apreciadas pela sua transparência, semelhante à das vitrocerâmicas, e pelo seu processo de acabamento relativamente simples, que inclui o polimento, a pigmentação e o glaze. No entanto, têm alguns inconvenientes. O seu processo de fabrico exige frequentemente uma cozedura em duas fases, o que torna a sua produção mais longa e complexa. Além disso, a sua qualidade superior torna-os mais caros e pode exigir competências técnicas específicas (Fasbinder et al., 2010; Watanabe et al., 2022).

3.7 Zircónia

A zircónia (CEREC Zirconia1 e 3M Chairdide Zirconia) é o material cerâmico mais recente. Revolucionou a medicina dentária moderna graças à sua excepcional resistência e capacidade de imitar o aspeto natural dos dentes. Composta principalmente por óxido de zircónio, a zircónia é muito apreciada pela sua elevada resistência à flexão, que pode atingir 900 MPa, tornando-a ideal para coroas e pontes em áreas de mastigação intensa. A sua estrutura cristalina única permite-lhe não só resistir ao desgaste, mas também oferecer uma translucidez comparável à dos dentes naturais, melhorando os resultados estéticos das restaurações dentárias. Além disso, a zircónia requer geralmente uma menor redução do dente durante a preparação (mínimo de 0,6 mm oclusal), o que ajuda a preservar mais a estrutura natural do dente. O seu ponto fraco é a falta de estudos que comprovem a sua durabilidade ao longo do tempo (Watanabe et al., 2022).

3.8 Metais

Fasbinder não inclui os metais na sua classificação, mas os metais desempenham um papel essencial na medicina dentária CAD/CAM, sobretudo devido à sua resistência e durabilidade. Entre os mais utilizados estão as ligas de titânio e de cobalto-crómio, conhecidas pela sua excelente resistência mecânica e capacidade de suportar cargas mastigatórias elevadas. Estes metais desempenham um papel crucial em aplicações estruturais, tais como suportes de próteses e fundações de implantes. Uma das principais vantagens dos metais nas restaurações dentárias é a sua capacidade de resistir à corrosão e conduzir o calor de forma eficiente, tornando-os fáceis de integrar no ambiente oral de forma duradoura e fiável. No entanto, o seu manuseamento e adesão requerem competências especiais, e a sua opacidade pode colocar problemas estéticos em comparação com opções mais translúcidas, como a cerâmica. Estudos indicaram que as ligas metálicas de cobalto-crómio produzidas por impressão 3D têm uma dureza mais elevada (371 ± 10 HV) do que as produzidas por processos de fundição tradicionais. Além disso, observou-se que os acessórios de prótese parcial metálica impressos em 3D oferecem uma melhor precisão de ajuste do que os métodos tradicionais (Sulaiman, 2020; Valenti et al., 2022).

Em conclusão, é importante salientar que, embora não existam grandes diferenças entre os materiais de impressão modernos, todos eles são perfeitamente adequados para restaurações parciais ou totais. Estes materiais têm propriedades ópticas adequadas a diferentes situações clínicas, ora com baixa ou alta translucidez, ora com a cromaticidade certa para se fundirem harmoniosamente desde o colo até à parte incisal do dente. No entanto, o material perfeito, o equivalente perfeito do esmalte e da dentina, ainda não existe. É fundamental continuar a estudar o desempenho clínico e as propriedades biomecânicas dos novos materiais dentários para garantir uma seleção adequada e informada por parte dos profissionais do sector (Cristian, 2017).

4. Aplicação clínica na realização de tratamentos estéticos

4.1 Aplicações em prostodontia

Coroas e pontes

A impressão 3D está a transformar radicalmente o fabrico de coroas e pontes dentárias em prótese dentária, oferecendo um método rápido e preciso para criar próteses que correspondem perfeitamente à morfologia individual de cada paciente. Os dentistas podem agora fabricar coroas e pontes com um elevado grau de fidelidade aos modelos digitais graças a tecnologias como a estereolitografia (SLA) ou o processamento digital de luz (DLP). Este método reduz consideravelmente a perda de material e melhora a reprodutibilidade dos detalhes (Pillai et al., 2021; Tian et al., 2021).

Em comparação com os métodos tradicionais, como a técnica de cera perdida, que é muitas vezes trabalhosa e propensa a erros humanos, a impressão 3D oferece uma alternativa eficiente e fiável. De facto, estudos recentes demonstraram que as coroas e pontes feitas com impressão 3D têm uma série de vantagens, incluindo um maior ajuste marginal, melhor adaptação oclusal e menos diferenças internas do que as feitas com métodos manuais ou de maquinação. Estes resultados destacam tanto a maior precisão na produção como o impacto positivo na saúde do tecido dentário circundante, reduzindo o risco de cáries e doenças periodontais causadas por adaptações imperfeitas (Alharbi et al., 2018; Mai et al., 2017; Yildirim, 2020). Na impressão 3D dentária, materiais como a alumina e a zircónia são preferidos pela sua excelente adesão e propriedades mecânicas

vantajosas (Osman et al., 2017).

A impressão 3D é particularmente vantajosa para as coroas provisórias, uma vez que estas têm de preservar os dentes e os tecidos durante a preparação da prótese definitiva (Tian et al., 2021). Esta é uma vantagem em relação às coroas tradicionais, cujo fabrico depende muito da perícia do operador e das imperfeições formadas durante a mistura de materiais. Estas podem reduzir a resistência das coroas provisórias feitas à mão, aumentando o risco de fraturas. Uma boa adaptabilidade e estabilidade mecânica são essenciais para garantir a proteção e a funcionalidade enquanto se aguarda a restauração definitiva (Karaokutan et al., 2015).

Facetas

A impressão 3D está a revolucionar os tratamentos estéticos em medicina dentária, permitindo a criação de facetas dentárias extremamente precisas. Os avanços tecnológicos como a estereolitografia (SLA) e o processamento digital de luz (DLP) facilitam a criação de facetas que imitam na perfeição o aspeto natural dos dentes. Estas técnicas não só aumentam a precisão e a velocidade de produção, como também reduzem o erro humano em comparação com os métodos convencionais. Os materiais utilizados, como a zircónia e certos compósitos poliméricos, são escolhidos pelas suas excelentes propriedades mecânicas e pela sua capacidade de proporcionar restaurações invisíveis e duradouras. As propriedades da zircónia, incluindo a elevada resistência à flexão*, o elevado módulo de flexão* e a microdureza*, são ainda melhoradas pelas técnicas de sinterização rápida* em comparação com os métodos tradicionais (Hajjaj et al., 2024).

*Elevada resistência à flexão: refere-se à capacidade do material para suportar forças que tendem a dobrá-lo. Uma elevada resistência à flexão significa que a zircónia pode suportar pressões elevadas sem se deformar, o que é essencial para facetas dentárias sujeitas a tensões mastigatórias.

*Módulo de flexão elevado: Esta é uma medida da rigidez do material. Um módulo de flexão elevado indica que a zircónia é muito rígida e não se deforma facilmente sob carga. Isto assegura que as facetas permanecem ajustadas e estáveis nos dentes do paciente.

*Microdureza: A microdureza refere-se à capacidade do material para resistir a riscos e indentações. Uma microdureza elevada significa que a superfície das facetas de zircónio é resistente ao desgaste e aos danos, prolongando a vida útil das restaurações dentárias.

*As técnicas de sinterização rápida são métodos de tratamento térmico utilizados para consolidar a zircónia depois de esta ter sido impressa. Ao contrário da sinterização convencional, que pode demorar várias horas, a sinterização rápida reduz significativamente o tempo necessário para densificar o material, mantendo ou melhorando a qualidade do produto final.

Os materiais translúcidos e de cor correspondente, tais como as resinas compostas e as cerâmicas, asseguram que as facetas se misturam harmoniosamente com a dentição natural do paciente. Estes materiais foram desenvolvidos para reproduzir a transparência e a cor dos dentes naturais, permitindo que as restaurações se misturem perfeitamente com os dentes circundantes (Robles et al., 2023). A impressão 3D também melhora os resultados estéticos ao oferecer ajustes personalizados. As facetas impressas adaptam-se com precisão aos contornos dos dentes, reduzindo o risco de cáries e doenças periodontais frequentemente causadas por encaixes imperfeitos. Esta precisão de ajuste não só protege o tecido dentário circundante, como também melhora o aspeto geral do sorriso, proporcionando uma estética mais harmoniosa e natural (Anadioti et al., 2020).

O desenho das facetas também está a ser melhorado com a utilização de guias de redução dentária impressas em 3D, permitindo intervenções mais precisas e personalizadas, otimizando os resultados clínicos e estéticos para os pacientes. Estes dispositivos personalizados são criados a partir de digitalizações dos dentes do paciente. Garantem uma preparação precisa dos dentes, reduzindo as margens de erro e melhorando o ajuste da faceta. Ajudam a remover a quantidade exata de material dentário necessário, assegurando uma integração perfeita das facetas sem danificar desnecessariamente os dentes naturais. Isto permite que os dentistas efetuem procedimentos mais eficientes e menos invasivos (Al-Rimawi et al., 2019; Robles et al., 2023).

4.2 Aplicações em ferramentas de diagnóstico e planeamento pré-operatório

Modelos 3D

Existem outras ferramentas de diagnóstico e planeamento pré-operatório disponíveis, para além das guias de redução dentária feitas pela impressora 3D. De facto, a reabilitação completa do sorriso não se limita às aplicações clínicas diretas da impressão 3D. A utilização de modelos 3D para planear restaurações completas do sorriso permite visualizações pré-operatórias precisas e a realização de ajustes estéticos meticulosos. Os dentistas podem conceber modelos digitais detalhados dos dentes e das estruturas faciais do paciente utilizando tecnologias de desenho assistido por computador (CAD) e de fabrico assistido por computador (CAM), facilitando o planeamento de procedimentos e a obtenção de resultados ótimos (Apresyan et al., 2021). Estes modelos 3D proporcionam uma visualização realista dos resultados esperados, melhorando a comunicação com o paciente e permitindo que o plano de tratamento seja melhor compreendido e ajustado de acordo com as necessidades estéticas individuais. Ao incorporar estas tecnologias, os médicos dentistas têm a oportunidade de realizar procedimentos mais eficazes e menos invasivos, melhor adaptados às necessidades estéticas e funcionais dos pacientes. Os ajustes necessários podem ser planeados e visualizados antes da cirurgia, reduzindo o tempo de cadeira e a necessidade de ajustes pós-operatórios (Lo Giudice et al., 2020; Papaspyridakos et al., 2022).

4.3 Aplicações em implantologia

Implantes

A perda de dentes é um problema comum que tem um enorme impacto na estética e na saúde mental das pessoas, e os implantes dentários são frequentemente o tratamento de eleição para substituir os dentes em falta. Estes implantes são inseridos no osso maxilar e ancorados através de um processo chamado osteointegração. Este processo é influenciado por vários factores, como a idade, o sexo e o historial médico do paciente, e é essencial para garantir a sobrevivência do implante a longo prazo. Graças ao advento

da impressão 3D, é agora possível conceber implantes dentários precisos e económicos (Osman et al., 2017).

Entre as várias tecnologias de impressão 3D, a sinterização a laser e a fusão por feixe direto são as técnicas mais populares para a produção de implantes maquinados personalizados, tais como estruturas de titânio. Os implantes fabricados por sinterização a laser podem induzir a formação mandibular. Utilizando estes métodos, é possível conceber implantes com porosidade e propriedades mecânicas ajustáveis, promovendo assim a osteointegração. (Khorsandi et al., 2021). O processo de impressão 3D envolve novamente o desenho de um modelo 3D utilizando software de desenho assistido por computador e, em seguida, a impressão camada a camada do material selecionado para criar o implante. As vantagens dos implantes impressos em 3D incluem a melhoria da análise e dos resultados devido à fácil manipulação de modelos digitais, a capacidade de replicar o processo e a redução dos tempos operatórios (Osman et al., 2017).

Os implantes dentários impressos em 3D, feitos de materiais como a zircónia e ligas de titânio, demonstram uma boa precisão dimensional e propriedades mecânicas comparáveis aos implantes cerâmicos convencionais. A investigação demonstrou que os implantes impressos em 3D incentivam o crescimento ósseo e oferecem uma biocompatibilidade aceitável. Por exemplo, os implantes Bio-ActiveITRI produzidos por sinterização a laser mostraram uma formação óssea ativa na análise histomorfométrica, e os implantes de titânio subperiosteais demonstraram uma taxa de sobrevivência de 100% após um ano de acompanhamento em pacientes edêntulos (Pillai et al., 2021).

Guias cirúrgicas em implantologia

As guias cirúrgicas são essenciais para melhorar a precisão e a eficácia dos tratamentos com implantes. Ajudam a reduzir os erros operacionais e a prever os resultados do tratamento. Existem dois tipos principais de guias cirúrgicos: dinâmicos e estáticos. As guias dinâmicas utilizam sistemas avançados, como câmaras ou sensores, para monitorizar e ajustar em tempo real durante a cirurgia. Durante a operação, o cirurgião pode ver as imagens em direto num ecrã. As guias estáticas, por outro lado, são fabricadas por impressão 3D (guias SLA). São fixas e não se movem durante a operação. Tradicionalmente, as guias cirúrgicas baseavam-se em imagens panorâmicas de raios X, mas este método tinha limitações significativas. Atualmente, graças à tecnologia CBCT,

à digitalização intra-oral e ao CAD, é possível conceber guias cirúrgicas extremamente precisas através da combinação de documentos digitais. Estas guias indicam a posição, os ângulos e a profundidade de inserção do implante, garantindo uma correspondência exacta entre o plano simulado e a operação real.

Está provado que as guias cirúrgicas estáticas são mais precisas do que as guias dinâmicas e os métodos tradicionais. A investigação mostra que as guias SLA têm desvios de distância média mais pequenos, confirmando a sua precisão excepcional.

Devido às suas vantagens em termos de simplicidade operacional e de custos, as guias cirúrgicas estáticas são amplamente utilizadas e são consideradas como o método preferencial para a cirurgia de implantes. A maioria das principais marcas de implantes tem os seus próprios sistemas de cirurgia guiada por SLA, reforçando a adoção destas tecnologias.

Para além dos implantes dentários, as guias cirúrgicas impressas em 3D são também utilizadas noutras especialidades dentárias, como a cirurgia maxilofacial para a reconstrução das estruturas ósseas faciais, a ortodontia para o posicionamento preciso de brackets e alinhadores e a periodontologia para a regeneração óssea e procedimentos de enxerto gengival (Khorsandi et al., 2021; Pillai et al., 2021).

4.4 Aplicações em ortodontia

Alinhadores transparentes

A impressão 3D de alinhadores transparentes feitos à medida oferece uma alternativa estética e eficaz aos aparelhos ortodônticos tradicionais. Para o fabrico destes alinhadores são utilizados materiais termoplásticos como poliéster, poliuretano, polipropileno, policarbonatos e polímeros de polietileno (Gupta et al., 2020). A impressão 3D permite fabricar alinhadores com arestas mais suaves e maior precisão, melhorando o seu ajuste, eficiência e reprodutibilidade ao longo do processo. Os alinhadores impressos em 3D têm maior precisão, maior resistência à carga e menor deformação do que os alinhadores tradicionais termoformados. Além disso, permitem um melhor controlo das forças aplicadas para o movimento dentário, graças a uma capacidade superior de controlar a espessura do alinhador. São também mais estéticos e confortáveis para os pacientes, melhorando a adesão ao tratamento (Tartaglia et al., 2021; Yu et al., 2022).

Outros

A impressora 3D também é capaz de produzir brackets, suportes e arcos em ortodontia. Foi criado um novo sistema de brackets de cerâmica para oferecer aos pacientes soluções ortodônticas personalizadas em termos de cor e forma, melhorando tanto a estética como a mecânica do tratamento. Também é possível produzir fios ortodônticos personalizados através de modelos digitais, oferecendo uma elevada precisão clínica. Além disso, esta tecnologia permite fabricar mantenedores de espaço com maior precisão, rapidez e facilidade. Os métodos CAD/CAM são atualmente utilizados com frequência para conceber restaurações protéticas integradas nos aparelhos ortodônticos. De facto, é possível conceber um aparelho ortodôntico com braquetes ligados a uma coroa protética. Isto permite que o dente protético seja movido ao mesmo tempo que os dentes naturais circundantes.

Os resultados estéticos e funcionais são melhorados com esta abordagem, que resolve os problemas de alinhamento dentário e de restauração ao mesmo tempo (Pillai et al., 2021).

5. Impacto e Desafios

5.1 As vantagens da Impressão 3D

A impressão 3D destaca-se pela sua capacidade de personalização dos dispositivos médicos, permitindo conceber estruturas dentárias complexas e únicas para cada paciente. A precisão deste método é excepcional, permitindo que as próteses dentárias e os implantes sejam adaptados de forma óptima à morfologia individual de cada paciente. Isto não só melhora o conforto, como também otimiza os resultados funcionais do tratamento. Esta capacidade de personalização responde às necessidades clínicas específicas dos pacientes, nomeadamente em casos complexos em que os métodos tradicionais não conseguem proporcionar uma adaptação ou funcionalidade adequadas (Tian et al., 2021).

Graças à impressão 3D, os tempos de produção de dispositivos dentários, como coroas e pontes, foram consideravelmente reduzidos. Atualmente, é possível produzi-los em poucas horas, em vez de vários dias. Esta rapidez simplifica e acelera todo o processo de tratamento, reduzindo o número de visitas ao consultório dentário e permitindo que os

pacientes recebam um tratamento mais rápido, menos invasivo e, por conseguinte, menos estressante. Desta forma, a impressão 3D está a mudar o fluxo de trabalho dentário (Pillai et al., 2021).

A tecnologia de impressão 3D em medicina dentária permite uma utilização otimizada dos materiais, reduzindo os resíduos e os custos de produção. Como resultado, o preço global dos produtos dentários diminuiu, tornando os cuidados dentários avançados mais acessíveis a uma população mais vasta. Isto permite que as clínicas ofereçam tratamentos a preços mais competitivos, facilitando o acesso a cuidados de elevada qualidade (Nulty, 2021a).

A impressão 3D está a promover a inovação através da introdução de materiais de alta qualidade na medicina dentária. Os rápidos avanços recentes no desenvolvimento de novos compósitos conduziram a melhorias significativas em propriedades como a cor e a translucidez, assegurando simultaneamente um fabrico de alta precisão. Os novos materiais estão a permitir aplicações clínicas anteriormente inatingíveis, como implantes e próteses mais leves que se integram melhor no tecido biológico dos pacientes. O futuro da impressão 3D na medicina dentária parece promissor, com avanços contínuos em tecnologias e materiais que deverão ter um efeito duradouro e benéfico neste domínio (Tian et al., 2021).

5.1 As desvantagens da Impressão 3D

Embora a imagiologia 3D tenha o potencial de reduzir os custos dos tratamentos através da redução do desperdício e da minimização dos erros clínicos, o custo inicial de aquisição e manutenção deste equipamento avançado continua a ser um obstáculo importante. Este investimento considerável, associado à necessidade de atualizações regulares do software, pode atrasar a adoção em massa desta tecnologia. Além disso, o processo de pós-processamento dos dados obtidos é frequentemente longo e complexo. Este processo requer ajustes manuais para melhorar o detalhe, bem como a utilização de software especializado para analisar e ajustar os dados de modo a garantir uma precisão ótima de diagnóstico. O diagnóstico e o planeamento do tratamento podem ser atrasados por este processo prolongado, o que tem um impacto na eficiência global do processo (Liaw & Guvendiren, 2017; Tian et al., 2021).

Como já foi referido, a utilização da impressão 3D é apreciada pela sua capacidade de

conceber dispositivos médicos personalizados com grande precisão. No entanto, depara-se com obstáculos que podem, por vezes, comprometer a sua eficácia. Os condicionalismos técnicos, como a resolução das impressoras, a qualidade dos materiais utilizados e os parâmetros de impressão, podem comprometer a precisão da impressão. Estas limitações podem alterar a fidelidade dos pormenores reproduzidos, o que é essencial nos tratamentos dentários em que cada milímetro conta. De acordo com a investigação, verificou-se que o ajuste de algumas coroas impressas em 3D pode ser mais fraco do que o obtido com modelos de gesso tradicionais, o que sublinha a importância de realizar uma investigação aprofundada para melhorar o processamento dos materiais utilizados na impressão 3D (Tian et al., 2021).

Além disso, a falta de grandes bases de dados de referência para verificar e comparar os resultados da impressão 3D acrescenta uma complexidade significativa. É difícil para os médicos dentistas verificarem a qualidade e a eficácia dos produtos impressos sem normas estabelecidas ou dados comparativos fiáveis. Esta falta de referências limita a adoção desta tecnologia para aplicações clínicas críticas (Dawood et al., 2015).

6. Impacto e Desafios

6.1 Avanços na Bioimpressão

A bioimpressão, um grande avanço na impressão 3D, utiliza tintas biológicas para criar tecidos artificiais. Esta tecnologia oferece duas novas aplicações. Em primeiro lugar, para criar modelos de doenças *in vitro*, que são essenciais para a investigação biomédica. Estes permitem simular condições patológicas num ambiente controlado, facilitando o estudo dos mecanismos das doenças e a avaliação de novas terapias. Graças à bioimpressão, é possível reproduzir tecidos com uma arquitetura celular complexa que imita fielmente a estrutura e a função dos tecidos afetados por certas patologias (Hwang et al., 2021).

A bioimpressão é também utilizada para a terapia regenerativa. Esta tecnologia está em plena expansão e é explorada pelo seu potencial revolucionário no domínio da terapêutica celular. A bioimpressão permite produzir enxertos de pele e de osso humanos por medida, com base em diversos materiais, nomeadamente quitosano, complexo de silicato de cálcio e materiais poliméricos de libertação controlada que incorporam agentes bioativos,

enriquecendo assim as possibilidades de personalização e de eficácia (Y.-W. Chen et al., 2018; Intini et al., 2018; Oberoi et al., 2018). Esta técnica tem o potencial de ultrapassar as técnicas cirúrgicas tradicionais. Estes avanços demonstram um imenso potencial, nomeadamente na substituição dos autoenxertos tradicionais, considerados mais invasivos e muitas vezes acompanhados de complicações no local do dador e perdas estruturais. A aplicação desta tecnologia na transplantação e regeneração sugere melhorias significativas na gestão de doenças e lesões, reduzindo o risco e aumentando a precisão das intervenções (Murphy & Atala, 2014; Oberoi et al., 2018).

6.2 Impacto no ensino da medicina dentária

A integração da impressão 3D no ensino da medicina dentária está a transformar radicalmente a formação dos futuros médicos dentistas. Alguns autores sublinham a importância de conceber modelos dentários que reproduzam com maior precisão as características anatómicas e fisiológicas reais dos dentes humanos. (Höhne & Schmitter, 2019; Pillai et al., 2021) Graças a estes modelos sofisticados, é possível reproduzir várias características como a dureza, a cor e a estrutura interna dos dentes, incluindo o esmalte, a dentina e a polpa. Este realismo é essencial na preparação dos alunos para procedimentos clínicos reais, dando-lhes a oportunidade de praticar em réplicas que refletem a variabilidade natural encontrada na prática clínica. Estes modelos podem ser utilizados em muitas áreas da medicina dentária, incluindo a prótese dentária para preparação de coroas, a dentisteria com imitações de dentes com lesões cáries (mais moles) e a endodontia com cavidades pulpares. Além disso, alguns modelos simulam lesões dentárias traumáticas, utilizando exames de CBCT de pacientes reais. Estes modelos, obtidos através de métodos estereolitográficos sofisticados, são apreciados pelo seu preço relativamente acessível e pela sua grande utilidade no ensino prático dos estudantes de medicina dentária (Höhne et al., 2019; Nicot et al., 2019; Pillai et al., 2021).

6.3 A transição para um fluxo de trabalho digital

A passagem para um fluxo de trabalho digital representa uma transição importante e benéfica para a prática dentária moderna, melhorando a criatividade, a previsibilidade e a eficiência dos tratamentos, ao mesmo tempo que os torna menos invasivos. No

entanto, esta integração é dificultada por obstáculos significativos, nomeadamente financeiros e relacionados com a aprendizagem. O elevado investimento inicial e a necessidade de formação contínua são desafios importantes que podem impedir a adoção generalizada destas tecnologias avançadas por todos os dentistas. De facto, os benefícios da digitalização dos dados dentários são consideráveis e apoiam, em parte, o desenvolvimento de novos materiais capazes de reproduzir com precisão as complexas nuances dos dentes naturais, representando um avanço significativo em relação aos métodos de fabrico tradicionais (Pillai et al., 2021) . Para que esta transição seja um sucesso, é imperativo que os dentistas adaptem as suas competências e revejam os seus métodos de trabalho para explorar todo o potencial destas inovações. É essencial uma formação rigorosa e um conhecimento profundo das implicações legais e éticas da utilização destas tecnologias. Além disso, um apoio institucional sólido e um quadro regulamentar adequado são essenciais para navegar com êxito no panorama em rápida evolução da medicina dentária digital. Ao ultrapassar estas barreiras, a medicina dentária pode avançar para uma era em que o fluxo de trabalho digital é acessível e benéfico para todos os profissionais (Justice, 2020).

IV. Aplicação Clínica da Sinergia das Inovações 3D

1. Conceitos de Caso Digital Total

O conceito de “Conceitos de Caso Digital Total” em medicina dentária refere-se à abordagem abrangente e integrada de casos clínicos utilizando tecnologia 3D. Isto envolve a utilização de digitalização intra-oral, tomografias computadorizadas de feixe cónico (CBCT) e tecnologias de modelação 3D para criar representações digitais precisas da anatomia dentária dos pacientes. Este processo otimiza o diagnóstico, o planeamento clínico e a execução dos tratamentos dentários, oferecendo soluções personalizadas e de alta precisão aos pacientes.

1.1 Diagnóstico e planeamento de tratamentos com tecnologia 3D

Diagnóstico

O diagnóstico de casos clínicos com tecnologia 3D começa com a digitalização intra-oral e a utilização de tomografia computadorizada de feixe cónico (CBCT). Os scanners 3D utilizados para a digitalização intra-oral, referidos anteriormente, captam imagens da superfície do dente e do tecido gengival, fornecendo uma base digital precisa para o diagnóstico.

As imagens 3D obtidas com CBCT fornecem uma visão aprofundada das estruturas dentárias e ósseas. Graças a estas tecnologias, a precisão do diagnóstico é consideravelmente melhorada. De facto, os médicos podem visualizar a anatomia do paciente a partir de diferentes ângulos, detetar anomalias e planear intervenções de forma mais eficaz (Dawood et al., 2015; Grippaudo, 2022; Javaid et al., 2019).

Com o advento da estereofotogrametria, a fotografia do paciente evoluiu para obter imagens tridimensionais da face. Assim, a fusão de todos estes tipos de imagens permite reconstruir a anatomia do paciente em três dimensões. Posteriormente, os sistemas de análise de imagens 3D, associados a sistemas de inteligência artificial baseados na aprendizagem automática, oferecem programas de diagnóstico que melhoram consideravelmente a precisão do diagnóstico. Estes sistemas automatizam o diagnóstico

de doenças dentárias e maxilofaciais e a localização de pontos de referência anatómicos para o planeamento de tratamentos ortodônticos e ortognáticos (Grippaudo, 2022).

Planeamento do tratamento

O planeamento do tratamento com tecnologia 3D utiliza os modelos tridimensionais obtidos para conceber tratamentos personalizados. A integração das tecnologias CAD/CAM permite aos clínicos conceber e fabricar dispositivos personalizados com grande precisão e eficiência.

Estas tecnologias são agora capazes de segmentar com precisão diferentes estruturas anatómicas, avaliar volumes ósseos e criar modelos digitais. Estes modelos podem ser manipulados para simular diferentes cenários de tratamento, prever resultados e ajustar os planos em conformidade. Isto resulta num planeamento mais eficiente e em tratamentos mais personalizados e eficazes (Coachman et al., 2020; Watanabe et al., 2022). Por exemplo, o mais recente software de desenho assistido por computador (CAD) incorpora tecnologias de simulação virtual, como o desenho virtual do sorriso e o articulador virtual, para facilitar a criação de um desenho perfeito. O desenho virtual do sorriso permite que os dentes deslocados, desalinhados ou danificados sejam reorientados para corresponderem às características faciais. Esta tecnologia permite que as impressões digitais sejam sobrepostas diretamente a fotografias faciais 2D ou a digitalizações faciais 3D, melhorando a precisão do planeamento estético (Watanabe et al., 2022).

Atualmente, é possível encontrar um articulador virtual que substitui o articulador dentário tradicional num fluxo de trabalho digital, na maioria dos softwares de desenho dentário CAD/CAM. Trata-se de uma ferramenta informática que pode reproduzir a relação entre as arcadas e simular os movimentos da mandíbula. Estes articuladores oferecem uma maior precisão no planeamento, particularmente em situações complexas que requerem uma avaliação aprofundada da oclusão (Watanabe et al., 2022).

A utilização de modelos tridimensionais também permite melhorar a comunicação entre os profissionais de saúde e os pacientes, Graças a esta visualização, é possível não só explicar melhor as diferentes fases do tratamento ao paciente, mas também ajustar os planos de tratamento de acordo com as preferências estéticas do paciente antes mesmo de o tratamento começar. Esta pré-visualização garante que o resultado final corresponde às

expectativas do paciente, o que, por sua vez, aumenta a satisfação e a confiança do paciente no tratamento (Humagain & Rokaya, 2019).

Esta abordagem inovadora garante diagnósticos exactos e planos de tratamento personalizados, lançando as bases para uma prestação de tratamento ainda melhor graças às tecnologias 3D.

1.2 Realização de tratamentos com tecnologia 3D

A impressão 3D desempenha um papel crucial na realização de tratamentos de medicina dentária estética, oferecendo uma precisão e personalização excepcionais. Ao oferecer a possibilidade de conceber dispositivos dentários personalizados, como coroas, facetas, guias cirúrgicos e alinhadores ortodônticos, a impressão 3D pode melhorar todas as fases do tratamento. Graças a esta tecnologia, os profissionais podem conceber soluções perfeitamente adaptadas às necessidades específicas de cada paciente, reduzindo assim os erros e melhorando significativamente os resultados clínicos. Por exemplo, a impressão 3D permite conceber modelos dentários precisos para o planeamento cirúrgico. Isto permite que os implantes e as próteses sejam mais bem adaptados, reduzindo o número de ajustes necessários após a operação (Humagain & Rokaya, 2019).

Graças à rapidez e eficiência da impressão 3D, o tempo total de tratamento pode ser reduzido. Os dispositivos dentários podem ser fabricados rapidamente a nível interno, evitando os longos períodos de espera associados ao fabrico externo tradicional. Isto não só acelera o tratamento, mas também permite que os ajustes sejam feitos em tempo real, o que é particularmente vantajoso nos casos em que são necessárias correções rápidas (Oberoi et al., 2018).

Ao integrar a impressão 3D no fluxo de trabalho clínico, os profissionais de medicina dentária estética podem oferecer soluções de tratamento altamente personalizadas e precisas, otimizando os resultados estéticos e funcionais. Esta tecnologia representa um grande avanço na capacidade de prestar cuidados dentários de alta qualidade, abordando as necessidades específicas de cada paciente com eficiência e precisão incomparáveis (Turkyilmaz & Wilkins, 2021).

2. Apresentação de Casos Clínicos

2.1 Caso Clínico 1

Este caso clínico descreve a utilização de tecnologias digitais avançadas para a reabilitação estética de um paciente de 33 anos de idade com restaurações dentárias anteriores defeituosas, incluindo uma restauração de resina no 12 e um implante de porcelana lascado no 11 (Figura 12). Não foram registadas quaisquer contra-indicações no historial médico do paciente. Em 2015, foi utilizado um implante dentário para substituir o dente 11 e o exame radiográfico revelou uma boa integração óssea.



Figura 14 Vista intra-oral da arcada maxilar do paciente, antes do tratamento (Almalki et al., 2022)

Diagnóstico e recolha de dados: Durante a avaliação inicial, foram efectuadas digitalizações intra-orais com CEREC® Primescan® e fotografias faciais. Utilizando o software SmileFy, foi efectuada uma análise 3D do sorriso que revelou restaurações anteriores defeituosas, porcelana lascada no implante do dente 11 e dentes de tamanho anormal. O diagnóstico determinou a necessidade de restaurações estéticas para melhorar a forma, o tamanho e a cor dos dentes anteriores, bem como a reparação da restauração sobre o implante existente.



Figura 15 Desenho final num software de desenho digital de sorrisos (Almalki et al., 2022)

Planeamento: O planeamento do tratamento começou com a criação de um modelo digital do sorriso utilizando o software SmileFy, que permite desenhar e visualizar o sorriso em 3D antes do tratamento. Este modelo foi depois impresso em 3D para servir de guia clínico. Para maximizar a precisão e a qualidade estética, foi efectuado um modelo de suporte utilizando a impressão 3D para criar índices de silicone. Estes índices de silicone, ou “mockups”, foram utilizados para transferir fielmente o desenho digital para a boca do paciente e criar um modelo intra-oral. Esta fase validou a estética e a funcionalidade do futuro tratamento, para além de servir de guia para a preparação e redução dos dentes. O plano de tratamento consistiu em restaurações cerâmicas para os dentes anteriores, restaurações de cobertura parcial para os dentes 14, 15 e 25, facetas faciais estratificadas para os dentes 22 e 23, e coroas totais para os dentes 12 e 13, bem como a reabilitação do pilar do implante existente com um pilar de zircónia personalizado.

Preparação dos dentes: As preparações dentárias minimamente invasivas são efectuadas e orientadas pela maquete “validada”, assegurando uma redução precisa e conservadora das estruturas dentárias.

Fabrico de restaurações e pilar impante: Foi efectuado um exame intra-oral digital com o CEREC Primescan após a inserção de corpos de referência para o implante dentário na área do dente 11. Os elementos a desenhar foram seleccionados no software DentalCAD e foi utilizado um ficheiro STL do modelo do sorriso como guia para o desenho das restaurações definitivas. As facetas, coroas e restaurações de cobertura parcial foram

fabricadas em cerâmica de dissilicato de lítio para garantir uma estética e durabilidade ótimas.

Para o implante existente, foi concebido um novo pilar personalizado em zircónio, ajustado e polido para uma integração perfeita nos tecidos, sendo depois ligado a uma base de titânio utilizando um material de ligação de endurecimento duplo.



Figura 16 As restaurações finais no modelo (Almalki et al., 2022)

Validação e ajustes: Os ajustes finais são orientados pela maquete, permitindo que o ajuste e o aspeto sejam validados antes do ajuste final.

Inserção final: A inserção final das restaurações foi efectuada após o polimento e silanização das superfícies internas das restaurações e da abrasão dos pilares de zircónia. As restaurações foram cimentadas com um cimento de resina de endurecimento duplo estável à cor (Almalki et al., 2022).



Figura 17 O sorriso do paciente após o tratamento, a vista frontal (Almalki et al., 2022)

Em conclusão, este caso clínico é interessante porque realça o papel do Digital Smile Design e das tecnologias CAD/CAM na realização de tratamentos estéticos personalizados, precisos e de alta qualidade.

2.2 Caso Clínico 2

Um homem de 47 anos de idade apresentou-se com dores na articulação temporomandibular (ATM) e que nos procurou porque uma das suas facetas anteriores (incisivo central superior) está danificada. O objetivo era corrigir a perda de dimensão vertical, causada pelo bruxismo, melhorar a estética geral e resolver os problemas da ATM.



Figura 18 A. Fotografia intra-oral de pré-tratamento: Vista frontal. B. Foto intra-oral de pré-tratamento: Vista oclusal do maxilar superior. C. Foto intra-oral de pré-tratamento: Vista oclusal do maxilar inferior (Stanley et al., 2018)

Diagnóstico e recolha de dados:

O diagnóstico inicial incluiu a avaliação clínica, radiológica e radiográfica, revelando a perda de dimensão vertical causada pelo bruxismo. Foram realizadas fotografias intra-orais e digitalizações intra-orais (Carestream 3500) para obter imagens precisas dos dentes e tecidos moles. O protocolo Digital Smile Design (DSD) foi aplicado, incluindo vídeos e fotografias de diferentes ângulos para um planeamento ótimo do sorriso. Estes dados foram enviados para o laboratório DSD para análise detalhada e planeamento do tratamento.

Planeamento do tratamento:

Foi desenvolvida uma estrutura de sorriso orientada para o rosto a partir dos vídeos e fotografias recolhidos com o DSD. Além disso, esta moldura teve em conta a nova dimensão vertical supostamente adequada do paciente, definida pelo articulador virtual integrado no sistema CAD/CAM, definido pela abertura até à abertura desejada. Esta estrutura foi depois transformada num modelo digital 3D utilizando um software CAD. Este modelo foi imprimido para criar um mock-up. Este dispositivo, realizado com bisacryl (Structur; VOCO), serviu para testar a adaptação à nova dimensão vertical (DV) na boca do paciente. O paciente passou duas semanas com a maquete provisória, sentindo-se confortável e sem dores na ATM, validando assim a nova DV. É então decidido preparar coroas para os dentes anteriores superiores (11-13, 21-23) e facetas e onlays para todos os outros dentes (14, 15, 16, 17, 24, 25, 26, 27, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47).

Preparação dos dentes:

As preparações dentárias foram efectuadas de forma minimamente invasiva, seguindo as indicações do modelo validado para assegurar uma redução precisa e conservadora das estruturas dentárias. Os dentes anteriores inferiores foram desgastados, uma vez que os dentes ântero-posteriores já tinham sido submetidos a tratamento no passado e não necessitavam de desgastar adicionalmente, e não foi efectuado qualquer desgaste nos dentes posteriores. Após a preparação, são efectuados novos scans intra-orais que permitem captar os preparos para o fabrico das restaurações definitivas.



Figura 19 Planeamento da DSD post-desgaste (Stanley et al., 2018)

Fabrico das restaurações:

As facetas e as coroas foram desenhadas digitalmente utilizando um software CAD protético e fabricadas com blocos de cerâmica de dissilicato de lítio. Este material foi escolhido pelas suas excelentes propriedades estéticas e elevada resistência mecânica, o que é particularmente adequado para pacientes que sofrem de bruxismo.

Ajuste e inserção final:

Após a adaptação, as restaurações foram cimentadas utilizando um agente de cimentação de resina polimerizável leve. Este foi escolhido pela sua capacidade de oferecer uma forte adesão, minimizando o risco de descoloração a longo prazo. Foram efectuados ajustes oclusais e verificados utilizando a tecnologia T-scan para garantir uma oclusão correcta. Foi fabricado um aparelho removível em acrílico para proteger as restaurações durante a fase de cicatrização (tempo de uso não indicado).

Reavaliação: As restaurações finais foram avaliadas após 6 meses e permaneceram estáveis, sem sinais de fratura. Além disso, o paciente referiu que, com a nova orientação vertical, já não sentia dores de cabeça.



Figura 20 A e B Fotografia intra-oral pós-tratamento. Vista frontal. C Fotografia intra-oral pós-tratamento. Vista oclusal do maxilar superior. D Foto intra-oral pós-tratamento. Vista oclusal do maxilar inferior (Stanley et al., 2018)

Este caso clínico ilustra a eficácia de um fluxo de trabalho digital completo para a reabilitação estética e funcional de um paciente que sofre de bruxismo, oferecendo resultados personalizados e precisos. As tecnologias digitais, como a digitalização intraoral e o desenho assistido por computador, podem melhorar significativamente os tratamentos dentários, aumentando a satisfação do paciente e a qualidade dos cuidados (Stanley et al., 2018).

O Digital Smile Design

O Digital Smile Design (DSD) é um software que, com base na captura e análise de imagens e vídeos tirados de diferentes ângulos, oferece a possibilidade de desenhar uma moldura de sorriso ideal e converter esta informação em modelos digitais 3D. Os dentistas podem utilizar o DSD nos seus consultórios, dando-lhes a oportunidade de simular resultados estéticos antes de iniciarem um tratamento efetivo e de os transmitirem aos seus pacientes. Além disso, muitos programas DSD são compatíveis com os dispositivos de digitalização intra-oral e os sistemas CAD/CAM que muitos dentistas já possuem.

O protocolo de documentação dinâmica do DSD envolve a captura de vídeos e fotografias de vários ângulos utilizando um smartphone para criar a moldura perfeita do sorriso. Os

vídeos incluem uma vista facial frontal com e sem um retrator de sorriso, uma vista de perfil, uma vista de 12 horas e uma vista oclusal anterior perpendicular ao plano oclusal sem um espelho. São também realizados vídeos adicionais, incluindo uma entrevista facial, um vídeo fonético de 180° e um vídeo funcional e estrutural intra-oral com retrator, para uma análise aprofundada da funcionalidade e estrutura oral.

Os dados recolhidos são depois enviados para o laboratório DSD para uma análise aprofundada. O objetivo principal é fundir as imagens oclusais, frontais e de 12 horas com uma régua digital, a fim de conceber uma moldura de sorriso precisa com base na análise do vídeo. As várias etapas para estabelecer esta moldura incluem a análise do arco facial digital, a determinação da forma e da posição da curva do sorriso, a utilização do Recurrent Aesthetic Dental Ratio (RADR) para avaliar a largura e o comprimento dos dentes, e a definição das curvas gengivais e dentárias para garantir que o sorriso corresponde ao rosto do paciente.

Esta estrutura 2D do sorriso é depois convertida num modelo digital 3D utilizando um software de desenho assistido por computador (CAD), que permite a criação de modelos dentários e restaurações precisas.

Desta forma, os planos de tratamento podem ser personalizados de acordo com as necessidades individuais de cada paciente utilizando o DSD. As simulações virtuais e os modelos 3D permitem representar visualmente os resultados potenciais e adaptar os planos de tratamento em conformidade (Cattoni et al., 2021; Stanley et al., 2018).

T-Scan

O T-Scan é uma tecnologia de ponta utilizada em medicina dentária para analisar e registar com precisão os contactos oclusais. Os dentistas podem utilizar esta ferramenta para observar e avaliar a força, duração e distribuição dos contactos dentários durante a mastigação, fornecendo dados valiosos para o diagnóstico e tratamento de problemas oclusais.

O T-Scan utiliza um protocolo para registar dados oclusais dinâmicos utilizando sensores digitais sensíveis. A pressão e a distribuição das forças de mastigação são registadas em tempo real por estes sensores, permitindo uma avaliação precisa dos contactos dentários. A informação recolhida é depois estudada através de um software especializado que produz representações visuais das forças oclusais, facilitando a deteção de pontos de contacto excessivos ou desequilibrados.

A capacidade do T-Scan para fornecer informações detalhadas sobre as forças oclusais é útil para planejar tratamentos de reabilitação protética, ajustar restaurações dentárias e tratar distúrbios da articulação temporomandibular.

Em combinação com um sistema CAD/CAM, permite obter resultados exactos no acabamento de restaurações estéticas em cerâmica. Isto elimina os potenciais erros associados a diferentes técnicas de impressão, embora estes sejam muito reduzidos hoje em dia com a utilização de scanners, e melhora assim a fiabilidade das relações interoclusais. (Iyer, 2023; Kerstein, Dmd, 2015).

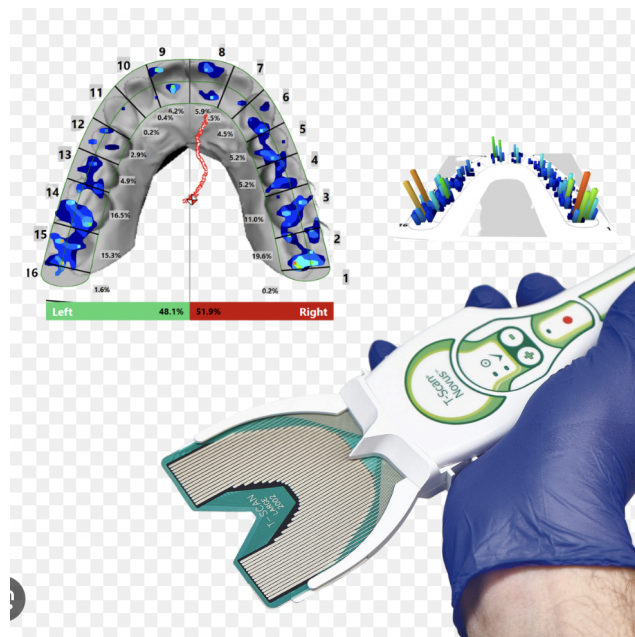


Figura 21 O T-Scan (<https://www.mescan.com/t-scan-novus>)

2.3 Caso Clínico 3

Este caso clínico explica como a digitalização facial 3D foi incorporada num processo digital para conceber e fabricar próteses totais imediatas utilizando a tecnologia CAD/CAM. Dez pacientes com dentição terminal foram submetidos a este método, necessitando, numa primeira fase, de uma extração total seguida da colocação imediata de próteses dentárias e, numa segunda fase, do fabrico de uma prótese total definitiva.

Fase 1: Tratamento provisório

Diagnóstico: Para este caso clínico, o diagnóstico foi definido previamente, uma vez que o estudo visava pacientes com características específicas. Estes pacientes apresentavam dentição terminal com migração patológica dos dentes devido a periodontite avançada, necessitando de extração total dos dentes remanescentes e colocação imediata de próteses totais.

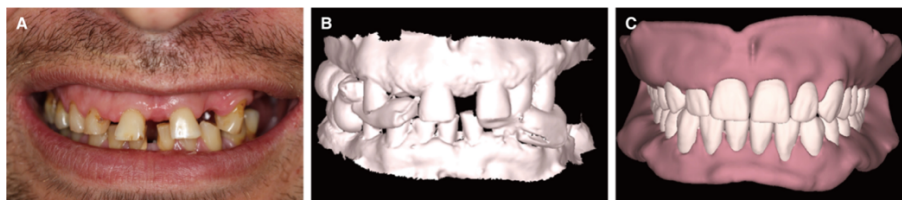


Figura 22 A. Fotografia clínica da situação pré-operatória demonstrando a migração dentária patológica resultante de periodontite avançada, B. Modelo digital 3D da situação intra-oral pré-operatória com o registo de mordida, C. Proposta de desenho de prótese imediata digital com base nos registos de mordida existentes (Hassan et al., 2017)

Planeamento do tratamento: Para planear o tratamento, foram realizados vários passos. O planeamento pré-operatório começou com fotografias digitais de cada paciente. De seguida, os pacientes foram submetidos a uma avaliação clínica inicial, incluindo impressões em alginato dentário. A partir destas impressões, foram efectuados modelos de gesso dentário tipo IV das arcadas dentárias. Simultaneamente, foram efectuados registos de mordida em silicone da Avadent para captar as relações oclusais dos pacientes. Estes modelos de gesso e registos de mordida foram digitalizados com o scanner iSeries DWOS para criar modelos digitais precisos, guardados como ficheiros STL de estereolitografia.

A criação de uma configuração virtual de dentes para uma prótese total imediata foi efectuada utilizando o software da Avadent. Os dentes foram seleccionados a partir de uma biblioteca 3D para corresponder aos dentes anteriores já presentes. O software oferece uma grande flexibilidade na seleção dos diagramas oclusais, quer sejam anatómicos, lingualizados ou planos. Todos os pacientes deste estudo receberam um conceito oclusal lingualizado.

Posteriormente, foi utilizado um scanner facial PritiMirror no consultório para criar uma réplica virtual do paciente para avaliação clínica 3D (prova de dentes), utilizando o registo de mordida no local. Foram feitas três digitalizações da face: na posição natural de

repouso, em sorriso máximo para avaliar a exposição dos lábios e com afastadores de bochecha para avaliar a exposição das superfícies vestibulares dos dentes anteriores. A coordenação dos sistemas foi assegurada pela utilização da região da testa como referência anatómica central para o alinhamento destas digitalizações. As digitalizações faciais foram sincronizadas com os modelos de gesso digitalizados, permitindo uma avaliação clínica virtual. Com base nos registos intra-orais da mordida, a configuração virtual dos dentes foi integrada com a digitalização facial, permitindo o ajuste da posição, tamanho e forma dos dentes antes do fabrico das próteses.

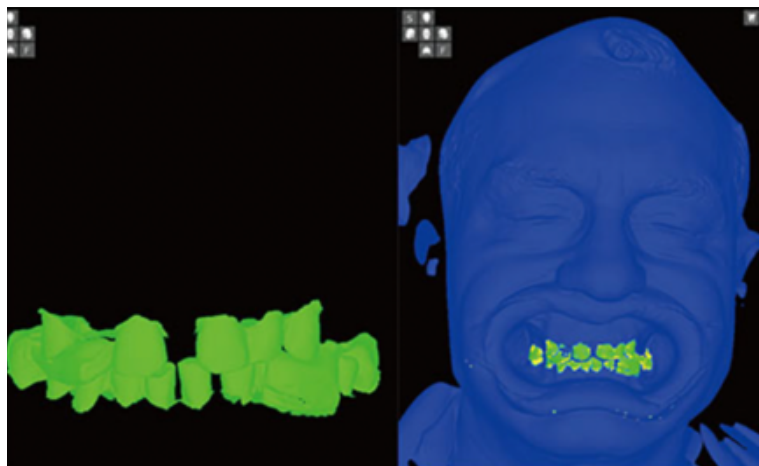


Figura 23 A situação intra-oral digital 3D combinada (registada) com a digitalização facial (Hassan et al., 2017)

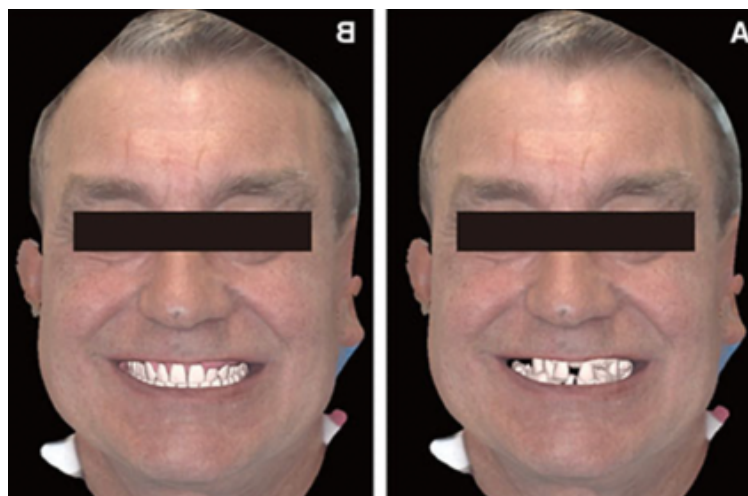


Figura 24 A. A digitalização intra-oral 3D pré-operatória sobreposta à digitalização facial em posição de sorriso, B. A proposta de desenho da prótese imediata virtual sobreposta à digitalização facial em posição de sorriso (Hassan et al., 2017)

Tratamento: Uma vez efectuadas as modificações necessárias, a configuração virtual foi submetida a um procedimento CAM no qual foi utilizada uma fresadora industrial de 5 eixos (M7 CNC) para produzir uma prótese provisória em PMMA. Foi fresada uma anilha personalizada da cor da gengiva e, em seguida, foi aplicada resina líquida da cor do dente na anilha gengival, com os contornos cervicais já colocados. Foram efectuadas extracções totais e, em seguida, as próteses foram imediatamente colocadas e a adaptação clínica foi efectuada. As próteses provisórias permaneceram no local durante três meses, sem causar quaisquer complicações técnicas.

Fase 2: Tratamento definitivo:

Os pacientes retomaram o tratamento definitivo três meses após o período de cicatrização. Os dados digitais da prótese provisória foram utilizados para criar uma segunda prótese superior 3D. Os dentes posteriores do maxilar inferior foram removidos do modelo digital para criar uma área parcialmente edêntula. O duplicado modificado foi então impresso utilizando a impressora Formlab 2, e foram adicionadas bases de cera para registar as mordidas. Foi efectuada uma impressão final utilizando materiais de silicone da Avadent. A mordida foi registada e fixada com ferragens adequadas. Foi feita uma nova digitalização facial para criar uma representação virtual actualizada dos dentes. Uma vez aprovado este novo desenho, a prótese final seria fabricada utilizando a impressora 3D, polida e colocada na boca (Hassan et al., 2017).

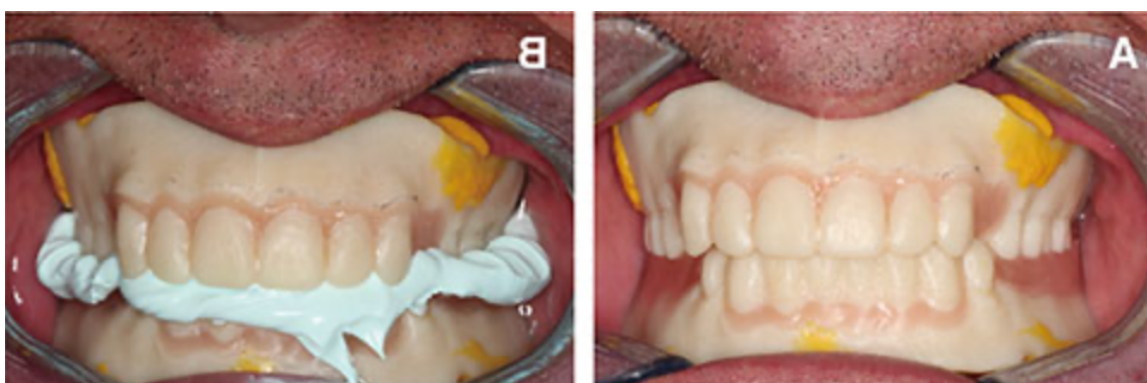


Figura 25 A. A moldeira individual personalizada imediata impressa em 3D, B. O registo de mordida definitivo obtido com o material de registo de mordida da Avadent (Hassan et al., 2017)

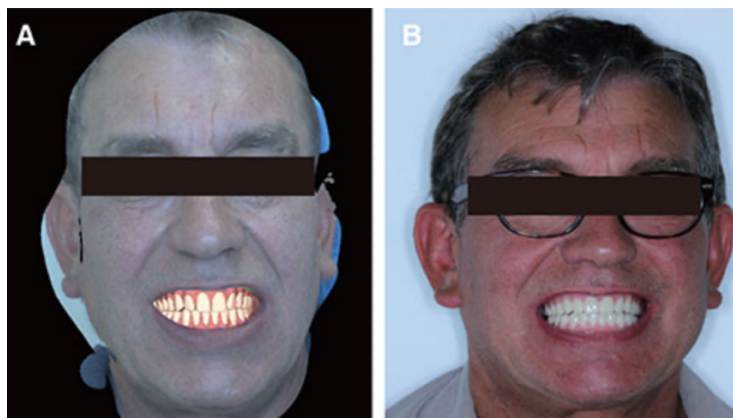


Figura 26 A. Os dentes virtuais experimentam a prótese definitiva, B. A prótese definitiva in-situ (Hassan et al., 2017)

Este caso clínico demonstra a eficácia da integração da digitalização facial 3D e das tecnologias CAD/CAM para a reabilitação de pacientes com dentição terminal que requerem extração total e colocação de prótese imediata. A digitalização facial foi utilizada para gerar réplicas virtuais precisas, simplificando o planeamento e a personalização das próteses. Graças à fusão destas tecnologias, foi possível adaptar próteses provisórias de forma rápida e precisa, ao mesmo tempo que se melhorou o processo de fabrico de próteses definitivas, conduzindo a resultados estéticos e funcionais mais impressionantes. A utilização deste novo processo de trabalho melhorou consideravelmente a eficácia dos tratamentos e a satisfação dos pacientes, reduzindo simultaneamente as complicações técnicas e os atrasos.

3. Discussão e Perspectivas

Os resultados dos nossos estudos de caso demonstram como as tecnologias digitais, nomeadamente a digitalização intraoral, a tomografia CBCT e a impressão 3D, desempenham papéis essenciais e complementares no diagnóstico, planeamento e realização de tratamentos dentários estéticos.

3.1. Diagnóstico e Planeamento

As técnicas convencionais de desenho de sorrisos, com recurso a modelos de cera, são muitas vezes imprecisas e fortemente influenciadas pela experiência do operador. As

ferramentas digitais, por outro lado, facilitam muito este procedimento, integrando bibliotecas de dentes naturais. Desde a fase inicial de desenho, estas ferramentas ajudam a conceber um plano de tratamento preciso, mesmo para casos estéticos complexos que requerem numerosas restaurações (Almalki, 2022).

A análise do rosto baseada apenas em fotografias pode ser inadequada ou incorrecta. A investigação tem demonstrado que o registo do sorriso em vídeo permite captar momentos mais naturais e espontâneos, aumentando a fiabilidade do diagnóstico estético. A partir de imagens e vídeos, é possível conceber uma moldura de sorriso 2D que se integra no rosto. A utilização desta documentação dinâmica, aliada ao protocolo Digital Smile Design (DSD), resulta em diagnósticos mais precisos, planos de tratamento consistentes e melhores resultados finais (Stanley et al., 2018).

Os avanços tecnológicos, nomeadamente os scanners intra-orais, revolucionaram o campo da medicina dentária. Estes scanners são utilizados para criar modelos de estudo e obter impressões digitais precisas, um trunfo considerável para modelar diferentes restaurações. Este método elimina as distorções das impressões analógicas e melhora a precisão do registo da mordida.

Os scanners intra-orais tornaram-se ferramentas indispensáveis na medicina dentária devido à sua vasta gama de aplicações e benefícios. De acordo com Miguel Stanley (2022), estudos comparativos demonstraram que certos scanners, como o CS 3600, oferecem uma precisão excepcional, tornando-os uma opção preferida para o planeamento de casos clínicos complexos (Stanley et al., 2018).

A prática da medicina dentária tem vindo a ser alterada pelas tecnologias CAD/CAM, nomeadamente na reabilitação de pacientes edêntulos, como se pode verificar no Caso Clínico 3. Através da digitalização facial 3D e dos scans intra-orais, é possível obter informações detalhadas sobre os tecidos moles, o que oferece a possibilidade de criar próteses que respondam verdadeiramente às exigências estéticas impostas pelo perfil externo do paciente, respeitando os constrangimentos protéticos. A melhoria desta interação entre o planeamento estético e a prótese beneficia tanto o paciente como o profissional (Hassan, 2022).

A simulação de tratamentos virtuais também é simplificada graças às tecnologias digitais, permitindo aos clínicos prever e visualizar os procedimentos interdisciplinares antes de

iniciar o tratamento real. Isto favorece uma melhor compreensão dos problemas, facilita a tomada de decisões e diminui os erros clínicos.

A criação de maquetes pré-operatórias digitais permite aos pacientes visualizar as novas restaurações antes de iniciar o tratamento, o que aumenta a sua educação e aceitação do caso (Miguel Stanley, 2022).

Por fim, o uso de sistemas virtuais facilita a comunicação entre os profissionais de saúde e os laboratórios dentários. Os técnicos têm a possibilidade de ver imediatamente as alterações na conceção das restaurações no rosto do paciente através dos softwares, o que melhora a precisão e a comunicação dos casos (Hassan, 2022).

3.2 Realização de tratamentos e Materiais

As restaurações adesivas de cerâmica parcial são frequentemente consideradas uma opção fiável para a região posterior dos dentes. A maioria dos estudos clínicos a longo prazo concentrou-se em vitrocerâmicas reforçadas com leucite, mas atualmente estão disponíveis materiais mais resistentes, como o dissilicato de lítio. Este material monolítico reduz os riscos de falhas nas restaurações ao eliminar as camadas e interfaces fracas. No caso clínico 2, o dissilicato de lítio foi escolhido para tratar um paciente com bruxismo, demonstrando sua eficácia com uma reabilitação adequada da dimensão vertical (DV).

Os onlays de cerâmica são uma alternativa interessante, pois permitem uma preparação dentária focada nos defeitos sem necessidade de concepções retentivas, evitando assim os métodos invasivos tradicionais. Os objetivos do tratamento incluem a eliminação das causas de abrasão e biocorrosão, a restauração das propriedades estéticas e funcionais, e a reconstrução das propriedades biomecânicas dos dentes afetados. Além disso, o tratamento visa prevenir o desgaste patológico a longo prazo. Neste caso, foi realizada uma preparação mínima dos dentes posteriores para aumentar a dimensão vertical e melhorar a estética, com restaurações de transição para testar a função e a estética do paciente, permitindo um tratamento minimamente invasivo.

O dissilicato de lítio, com uma resistência à flexão biaxial de 500 MPa, é utilizado para preparações minimamente invasivas e cimentação adesiva de coroas com 1 mm de espessura. Este estudo demonstra que a obtenção da dimensão vertical correta em um

paciente com bruxismo reduz o risco de fratura, mesmo com forças de carga elevadas (Miguel Stanley, 2022).

3.3 Limitações

O caso clínico 3 revelou várias limitações significativas. Em primeiro lugar, o alinhamento dos modelos de gesso dentário e dos scans faciais baseia-se na visibilidade das superfícies labiais dos dentes e no material de registo das impressões como referência comum. No entanto, constatou-se que o material de registo branco não é adequado para este processo de trabalho digital devido à reflexão da luz do flash da câmara, o que reduz a visibilidade da impressão. Em pacientes com sulcos faciais profundos, essa estabilidade pode ser comprometida, pois essa área pode deformar-se quando o paciente sorri, resultando numa deterioração da precisão do registo. A precisão dos scans e dos registos também pode ser influenciada pelos movimentos do paciente durante o exame, pelo fluxo salivar e pela presença de pelos faciais (Hassan et al., 2017).

Além disso, o caso clínico 2 destaca a questão do seguimento a curto prazo, sublinhando a importância de realizar estudos adicionais com um seguimento a longo prazo, que pode ir até 10 anos, para confirmar a durabilidade e o sucesso da metodologia utilizada. Também é possível considerar a escolha do dissilicato de lítio para esta reabilitação como uma limitação, uma vez que não existem dados bibliográficos que apoiem a sua utilização nas zonas posteriores, especialmente em pacientes com bruxismo. A incorporação desta tecnologia na prática clínica constitui um investimento financeiro significativo para os consultórios dentários e requer uma aprendizagem contínua para garantir resultados ótimos (Miguel Stanley, 2022).

V. Conclusão

A integração de tecnologias digitais como digitalização intraoral, tomografia CBCT e impressão 3D desempenha um papel essencial e complementar no diagnóstico, planejamento e execução de tratamentos estéticos dentários. Essas tecnologias melhoraram significativamente a precisão e a eficiência dos procedimentos odontológicos, possibilitando resultados de tratamento mais personalizados e precisos para os pacientes.

As ferramentas digitais oferecem diversos benefícios, como análises diagnósticas mais detalhadas graças a impressões digitais precisas, além de uma comunicação aprimorada entre dentistas e pacientes. Com a imagem 3D, é possível visualizar as estruturas dentárias com maior detalhe em comparação aos métodos tradicionais, facilitando o planejamento e a execução dos tratamentos. Além disso, os avanços na impressão 3D permitem projetar próteses e guias cirúrgicas sob medida, reduzindo o tempo de tratamento e melhorando a precisão dos resultados.

No entanto, a integração dessas tecnologias digitais na odontologia estética ainda enfrenta alguns desafios, como os elevados custos iniciais e a necessidade de formação especializada. Essas dificuldades podem impedir a disseminação generalizada, especialmente em regiões com recursos limitados. Além disso, a falta de estudos sobre as inovações mais recentes limita a capacidade dos profissionais de avaliar completamente sua eficácia e segurança, tornando necessária uma investigação contínua para melhor compreender e integrar essas novas tecnologias na prática clínica diária.

Apesar desses desafios, os avanços tecnológicos contínuos tornam essas ferramentas cada vez mais fáceis de usar e mais eficazes, promovendo uma evolução significativa na prática da odontologia estética.

IV. Bibliografia

Ahlholm, P., Sipilä, K., Vallittu, P., Jakonen, M., & Kotiranta, U. (2018). Digital Versus Conventional Impressions in Fixed Prosthodontics : A Review. *Journal of Prosthodontics*, 27(1), 35-41. <https://doi.org/10.1111/jopr.12527>

Ahn, S. H., Lee, J., Park, S. A., & Kim, W. D. (2016). Three-dimensional bio-printing equipment technologies for tissue engineering and regenerative medicine. *Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, 13(6), 663-676. <https://doi.org/10.1007/s13770-016-0148-1>

Al Hamad, K. Q., Al-Rashdan, B. A., Ayyad, J. Q., Al Omrani, L. M., Sharoh, A. M., Al Nimri, A. M., & Al-Kaff, F. T. (2022). Additive Manufacturing of Dental Ceramics : A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Prosthodontics*, 31(8). <https://doi.org/10.1111/jopr.13553>

Alharbi, N., Alharbi, S., Cuijpers, V. M. J. I., Osman, R. B., & Wismeijer, D. (2018). Three-dimensional evaluation of marginal and internal fit of 3D-printed interim restorations fabricated on different finish line designs. *Journal of Prosthodontic Research*, 62(2), 218-226. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2017.09.002>

Alharbi, N., Van De Veen, A. J., Wismeijer, D., & Osman, R. B. (2019). Build angle and its influence on the flexure strength of stereolithography printed hybrid resin material. An in vitro study and a fractographic analysis. *Materials Technology*, 34(1), 12-17. <https://doi.org/10.1080/10667857.2018.1467071>

Al-Imam, H., Gram, M., Benetti, A. R., & Gotfredsen, K. (2018). Accuracy of stereolithography additive casts used in a digital workflow. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 119(4), 580-585. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.05.020>

Almalki, A., Conejo, J., Wünsche, A., Anadioti, E., & Blatz, M. B. (2022). Digital Smile Design and Fabrication of CAD/CAM Restorations in a Complex Esthetic Case. *Compendium of Continuing Education in Dentistry (Jamesburg, N.J.: 1995)*, 43(10), 664-668.

Al-Rimawi, A., EzEldeen, M., Schneider, D., Politis, C., & Jacobs, R. (2019). 3D Printed Temporary Veneer Restoring Autotransplanted Teeth in Children : Design and Concept Validation Ex Vivo. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(3), 496. <https://doi.org/10.3390/ijerph16030496>

Amornvit, P., Rokaya, D., & Sanohkan, S. (2021). Comparison of Accuracy of Current Ten Intraoral Scanners. *BioMed Research International*, 2021, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2021/2673040>

Anadioti, E., Musharbash, L., Blatz, M. B., Papavasiliou, G., & Kamposiora, P. (2020). 3D printed complete removable dental prostheses : A narrative review. *BMC Oral Health*, 20(1), 343. <https://doi.org/10.1186/s12903-020-01328-8>

Apresyan, S. V., Stepanov, A. G., & Vardanyan, B. A. (2021). Digital protocol for comprehensive planning of dental treatment. Clinical case analysis. *Stomatologiya*, 100(3), 65. <https://doi.org/10.17116/stomat202110003165>

Berrendero, S., Salido, M. P., Valverde, A., Ferreira, A., & Pradiés, G. (2016). Influence of conventional and digital intraoral impressions on the fit of CAD/CAM-fabricated all-ceramic crowns. *Clinical Oral Investigations*, 20(9), 2403-2410. <https://doi.org/10.1007/s00784-016-1714-6>

Blatz, M. B., Chiche, G., Bahat, O., Roblee, R., Coachman, C., & Heymann, H. O. (2019). Evolution of Aesthetic Dentistry. *Journal of Dental Research*, 98(12), 1294-1304. <https://doi.org/10.1177/0022034519875450>

Blatz, M. B., & Conejo, J. (2019). The Current State of Chairside Digital Dentistry and Materials. *Dental Clinics of North America*, 63(2), 175-197. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2018.11.002>

Cattoni, F., Chirico, L., Merlone, A., Manacorda, M., Vinci, R., & Gherlone, E. F. (2021). Digital Smile Designed Computer-Aided Surgery versus Traditional Workflow in “All on Four” Rehabilitations: A Randomized Clinical Trial with 4-Years Follow-Up. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7), 3449. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073449>

Chen, J., Zhao, L., & Zhou, K. (2022). Multi-Jet Fusion 3D Voxel Printing of Conductive Elastomers. *Advanced Materials*, 34(47), 2205909. <https://doi.org/10.1002/adma.202205909>

Coachman, C., Georg, R., Bohner, L., Rigo, L. C., & Sesma, N. (2020). Chairside 3D digital design and trial restoration workflow. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 124(5), 514-520. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.10.015>

Cristian, A.-C. (2017). Dental Materials and their Innovation in Digital Dentistry. *Advances in Dentistry & Oral Health*, 5(5). <https://doi.org/10.19080/ADOH.2017.05.555671>

Dawood, A., Marti, B. M., Sauret-Jackson, V., & Darwood, A. (2015). 3D printing in dentistry. *British Dental Journal*, 219(11), 521-529. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2015.914>

Fasbinder, D. J., Dennison, J. B., Heys, D., & Neiva, G. (2010). A Clinical Evaluation of Chairside Lithium Disilicate CAD/CAM Crowns. *The Journal of the American Dental Association*, 141, 10S-14S. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2010.0355>

Goldstein, R. E., Chu, S. J., Lee, E. A., & Stappert, C. F. J. (Éds.). (2018). *Ronald E. Goldstein's Esthetics in Dentistry* (1re éd.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119272946>

Grippaudo, C. (2022). 3D Diagnosis in Dentistry. *The Open Dentistry Journal*, 16(1),

e187421062203010. <https://doi.org/10.2174/18742106-v16-e2203010>

Gupta, D. K., Tuli, A., & Jain, A. (2020). 3D printed material application in orthodontics. *Materials Today: Proceedings*, 28, 1635-1642. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.856>

Hajjaj, M. S., Alamoudi, R. A. A., Babeer, W. A., Rizg, W. Y., Basalah, A. A., Alzahrani, S. J., & Yeslam, H. E. (2024). Flexural strength, flexural modulus and microhardness of milled vs. Fused deposition modeling printed Zirconia; effect of conventional vs. Speed sintering. *BMC Oral Health*, 24(1), 38. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03829-8>

Han, T., Kundu, S., Nag, A., & Xu, Y. (2019). 3D Printed Sensors for Biomedical Applications : A Review. *Sensors*, 19(7), 1706. <https://doi.org/10.3390/s19071706>

Hassan, B., Greven, M., & Wismeijer, D. (2017). Integrating 3D facial scanning in a digital workflow to CAD/CAM design and fabricate complete dentures for immediate total mouth rehabilitation. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 9(5), 381. <https://doi.org/10.4047/jap.2017.9.5.381>

Höhne, C., Schwarzbauer, R., & Schmitter, M. (2019). 3D Printed Teeth with Enamel and Dentin Layer for Educating Dental Students in Crown Preparation. *Journal of Dental Education*, 83(12), 1457-1463. <https://doi.org/10.21815/JDE.019.146>

Humagain, M., & Rokaya, D. (2019). Integrating Digital Technologies in Dentistry to Enhance the Clinical Success. *Kathmandu University Medical Journal (KUMJ)*, 17(68), 256-257.

Hung, K., Yeung, A. W. K., Tanaka, R., & Bornstein, M. M. (2020). Current Applications, Opportunities, and Limitations of AI for 3D Imaging in Dental Research and Practice. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(12), 4424. <https://doi.org/10.3390/ijerph17124424>

Hwang, D. G., Choi, Y., & Jang, J. (2021). 3D Bioprinting-Based Vascularized Tissue Models Mimicking Tissue-Specific Architecture and Pathophysiology for in vitro Studies. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 685507. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.685507>

Iyer, P. K. (2023). T-scans in implant procedures. *Bioinformation*, 19(1), 35-38. <https://doi.org/10.6026/97320630019035>

Javaid, M., Haleem, A., & Kumar, L. (2019). Current status and applications of 3D scanning in dentistry. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 7(2), 228-233. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2018.07.005>

Jeong, M., Radomski, K., Lopez, D., Liu, J. T., Lee, J. D., & Lee, S. J. (2023). Materials and Applications of 3D Printing Technology in Dentistry : An Overview. *Dentistry Journal*, 12(1), 1. <https://doi.org/10.3390/dj12010001>

Joda, T., & Gallucci, G. O. (2015). The virtual patient in dental medicine. *Clinical Oral Implants Research*, 26(6), 725-726. <https://doi.org/10.1111/clr.12379>

Justice, L. (2020). Digital Workflow Across Multiple Practices Achieves Efficient and Esthetic Results. *Compendium of Continuing Education in Dentistry* (Jamesburg, N.J.: 1995), 41(6), i1-i4.

Karaokutan, I., Sayin, G., & Kara, O. (2015). In vitro study of fracture strength of provisional crown materials. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 7(1), 27. <https://doi.org/10.4047/jap.2015.7.1.27>

Kerstein, Dmd, R. B. (Éd.). (2015). *Handbook of Research on Computerized Occlusal Analysis Technology Applications in Dental Medicine*: IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-6587-3>

Khorsandi, D., Fahimipour, A., Abasian, P., Saber, S. S., Seyedi, M., Ghanavati, S., Ahmad, A., De Stephanis, A. A., Taghavinezhaddilami, F., Leonova, A., Mohammadinejad, R., Shabani, M., Mazzolai, B., Mattoli, V., Tay, F. R., & Makvandi, P. (2021). 3D and 4D printing in dentistry and maxillofacial surgery : Printing techniques, materials, and applications. *Acta Biomaterialia*, 122, 26-49. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2020.12.044>

Kim, S.-Y., Shin, Y.-S., Jung, H.-D., Hwang, C.-J., Baik, H.-S., & Cha, J.-Y. (2018). Precision and trueness of dental models manufactured with different 3-dimensional printing techniques. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 153(1), 144-153. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.05.025>

Lee, Y. C., Zheng, J., Kuo, J., Acosta-Vélez, G. F., Linsley, C. S., & Wu, B. M. (2022). Binder Jetting of Custom Silicone Powder for Direct Three-Dimensional Printing of Maxillofacial Prostheses. *3D Printing and Additive Manufacturing*, 9(6), 520-534. <https://doi.org/10.1089/3dp.2021.0019>

Liaw, C.-Y., & Guvendiren, M. (2017). Current and emerging applications of 3D printing in medicine. *Biofabrication*, 9(2), 024102. <https://doi.org/10.1088/1758-5090/aa7279>

Lin, L., Fang, Y., Liao, Y., Chen, G., Gao, C., & Zhu, P. (2019). 3D Printing and Digital Processing Techniques in Dentistry : A Review of Literature. *Advanced Engineering Materials*, 21(6), 1801013. <https://doi.org/10.1002/adem.201801013>

Lo Giudice, A., Ortensi, L., Farronato, M., Lucchese, A., Lo Castro, E., & Isola, G. (2020). The step further smile virtual planning : Milled versus prototyped mock-ups for the evaluation of the designed smile characteristics. *BMC Oral Health*, 20(1), 165. <https://doi.org/10.1186/s12903-020-01145-z>

Logozzo, S., Zanetti, E. M., Franceschini, G., Kilpelä, A., & Mäkyänen, A. (2014). Recent advances in dental optics – Part I : 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Optics and Lasers in Engineering*, 54, 203-221. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2013.07.017>

Mai, H.-N., Lee, K.-B., & Lee, D.-H. (2017). Fit of interim crowns fabricated using photopolymer-jetting 3D printing. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 118(2), 208-215. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.10.030>

- Manisha, J., Srivastava, G., Das, S., Tabarak, N., & Choudhury, G. (2023). Accuracy of single-unit ceramic crown fabrication after digital versus conventional impressions: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Indian Prosthodontic Society*, 23(2), 105. https://doi.org/10.4103/jips.jips_534_22
- Murphy, S. V., & Atala, A. (2014). 3D bioprinting of tissues and organs. *Nature Biotechnology*, 32(8), 773-785. <https://doi.org/10.1038/nbt.2958>
- Nicot, R., Druelle, C., Schlund, M., Roland-Billecart, T., Gwénaél, R., Ferri, J., & Gosset, D. (2019). Use of 3D printed models in student education of craniofacial traumas. *Dental Traumatology*, 35(4-5), 296-299. <https://doi.org/10.1111/edt.12479>
- Nulty, A. B. (2021a). 3D Printing Part 1—A History and Literature Review Of 3D Printing in Dentistry [Preprint]. *MEDICINE & PHARMACOLOGY*. <https://doi.org/10.20944/preprints202105.0221.v1>
- Nulty, A. B. (2021b). 3D Printing Part 1—A History and Literature Review Of 3D Printing in Dentistry [Preprint]. *MEDICINE & PHARMACOLOGY*. <https://doi.org/10.20944/preprints202105.0221.v1>
- Oberoi, G., Nitsch, S., Edelmayr, M., Janjić, K., Müller, A. S., & Agis, H. (2018). 3D Printing—Encompassing the Facets of Dentistry. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 6, 172. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2018.00172>
- Oliveira, G. D. S., Gusmão, Y. G., Nunes, F. M., Oliveira, I. D. S., Cangussu, L. S., & Gonçalves, M. C. (2020). Associação entre a odontologia estética e autoestima. *Revista Eletrônica Acervo Odontológico*, 1, e3892. <https://doi.org/10.25248/reaodonto.e3892.2020>
- Osman, R. B., Van Der Veen, A. J., Huiberts, D., Wismeijer, D., & Alharbi, N. (2017). 3D-printing zirconia implants; a dream or a reality? An in-vitro study evaluating the dimensional accuracy, surface topography and mechanical properties of printed zirconia implant and discs. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 75, 521-528. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2017.08.018>
- Papaspyridakos, P., Bedrossian, A., De Souza, A., Bokhary, A., Gonzaga, L., & Chochlidakis, K. (2022). Digital Workflow in Implant Treatment Planning For Terminal Dentition Patients. *Journal of Prosthodontics*, 31(6), 543-548. <https://doi.org/10.1111/jopr.13510>
- Piedra-Cascón, W., Fountain, J., Att, W., & Revilla-León, M. (2021). 2D and 3D patient's representation of simulated restorative esthetic outcomes using different computer-aided design software programs. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 33(1), 143-151. <https://doi.org/10.1111/jerd.12703>
- Pillai, S., Upadhyay, A., Khayambashi, P., Farooq, I., Sabri, H., Tarar, M., Lee, K. T., Harb, I., Zhou, S., Wang, Y., & Tran, S. D. (2021). Dental 3D-Printing: Transferring Art from the Laboratories to the Clinics. *Polymers*, 13(1), 157. <https://doi.org/10.3390/polym13010157>

Prasad, S., Kader, N. A., Sujatha, G., Raj, T., & Patil, S. (2018). 3D printing in dentistry. *Journal of 3D Printing in Medicine*, 2(3), 89-91. <https://doi.org/10.2217/3dp-2018-0012>

Rekow, E. D. (2020). Digital dentistry : The new state of the art — Is it disruptive or destructive? *Dental Materials*, 36(1), 9-24. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2019.08.103>

Revilla-León, M., Jiang, P., Sadeghpour, M., Piedra-Cascón, W., Zandinejad, A., Özcan, M., & Krishnamurthy, V. R. (2020). Intraoral digital scans—Part 1 : Influence of ambient scanning light conditions on the accuracy (trueness and precision) of different intraoral scanners. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 124(3), 372-378. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.06.003>

Revilla-León, M., Zandinejad, A., Nair, M. K., Barmak, A. B., Feilzer, A. J., & Özcan, M. (2022). Accuracy of a patient 3-dimensional virtual representation obtained from the superimposition of facial and intraoral scans guided by extraoral and intraoral scan body systems. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 128(5), 984-993. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.02.023>

Robles, M., Jurado, C. A., Azpiazu-Flores, F. X., Villalobos-Tinoco, J., Afrashtehfar, K. I., & Fischer, N. G. (2023). An Innovative 3D Printed Tooth Reduction Guide for Precise Dental Ceramic Veneers. *Journal of Functional Biomaterials*, 14(4), 216. <https://doi.org/10.3390/jfb14040216>

Sobral, A. P. T., Gonçalves, M. L. L., D'Annibale, A. S., Santos, E. M., Guedes, C. C., Gallo, J. M. A. S., Ferri, E. P., Moretti, L. A. C., Motta, L. J., Deana, A. M., Horliana, A. C. R. T., & Kalil Bussadori, S. (2022). Evaluation of different methods for the diagnosis of primary caries lesions : Study protocol for a randomized controlled clinical trial. *PLOS ONE*, 17(8), e0273104. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0273104>

Spear, F. M., & Kokich, V. G. (2007). A Multidisciplinary Approach to Esthetic Dentistry. *Dental Clinics of North America*, 51(2), 487-505. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2006.12.007>

Spitznagel, F., Scholz, K., Vach, K., & Gierthmuehlen, P. (2020). Monolithic Polymer-Infiltrated Ceramic Network CAD/CAM Single Crowns : Three-Year Mid-Term Results of a Prospective Clinical Study. *The International Journal of Prosthodontics*, 33(2), 160-168. <https://doi.org/10.11607/ijp.6548>

Stanley, M., Paz, A. G., Miguel, I., & Coachman, C. (2018). Fully digital workflow, integrating dental scan, smile design and CAD-CAM : Case report. *BMC Oral Health*, 18(1), 134. <https://doi.org/10.1186/s12903-018-0597-0>

Sulaiman, T. A. (2020). Materials in digital dentistry—A review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 32(2), 171-181. <https://doi.org/10.1111/jerd.12566>

Tartaglia, G. M., Mapelli, A., Maspero, C., Santaniello, T., Serafin, M., Farronato, M., & Caprioglio, A. (2021). Direct 3D Printing of Clear Orthodontic Aligners : Current State and Future Possibilities. *Materials*, 14(7), 1799. <https://doi.org/10.3390/ma14071799>

Tian, Y., Chen, C., Xu, X., Wang, J., Hou, X., Li, K., Lu, X., Shi, H., Lee, E.-S., & Jiang, H. B. (2021). A Review of 3D Printing in Dentistry : Technologies, Affecting Factors, and Applications. *Scanning*, 2021, 1-19. <https://doi.org/10.1155/2021/9950131>

Ting-shu, S., & Jian, S. (2015). Intraoral Digital Impression Technique : A Review. *Journal of Prosthodontics*, 24(4), 313-321. <https://doi.org/10.1111/jopr.12218>

Tsolakis, I. A., Gizani, S., Panayi, N., Antonopoulos, G., & Tsolakis, A. I. (2022). Three-Dimensional Printing Technology in Orthodontics for Dental Models : A Systematic Review. *Children*, 9(8), 1106. <https://doi.org/10.3390/children9081106>

Turkylmaz, I., & Wilkins, G. N. (2021). 3D printing in dentistry – Exploring the new horizons. *Journal of Dental Sciences*, 16(3), 1037-1038. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2021.04.004>

Valenti, C., Isabella Federici, M., Masciotti, F., Marinucci, L., Xhimitiku, I., Cianetti, S., & Pagano, S. (2022). Mechanical properties of 3D-printed prosthetic materials compared with milled and conventional processing : A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, S0022391322004152. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.06.008>

Walter, R. (s. d.). DENTAL TECHNOLOGY, ORAL HEALTH AND AESTHETIC APPEARANCE: A HISTORICAL VIEW.

Watanabe, H., Fellows, C., & An, H. (2022). Digital Technologies for Restorative Dentistry. *Dental Clinics of North America*, 66(4), 567-590. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2022.05.006>

Yildirim, B. (2020). Effect of porcelain firing and cementation on the marginal fit of implant-supported metal-ceramic restorations fabricated by additive or subtractive manufacturing methods. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 124(4), 476.e1-476.e6. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.03.014>

Yu, X., Li, G., Zheng, Y., Gao, J., Fu, Y., Wang, Q., Huang, L., Pan, X., & Ding, J. (2022). ‘Invisible’ orthodontics by polymeric ‘clear’ aligners molded on 3D-printed personalized dental models. *Regenerative Biomaterials*, 9, rbac007. <https://doi.org/10.1093/rb/rbac007>

Zarauz, C., Valverde, A., Martinez-Rus, F., Hassan, B., & Pradies, G. (2016). Clinical evaluation comparing the fit of all-ceramic crowns obtained from silicone and digital intraoral impressions. *Clinical Oral Investigations*, 20(4), 799-806. <https://doi.org/10.1007/s00784-015-1590-5>

Zimmermann, M., Koller, C., Reymus, M., Mehl, A., & Hickel, R. (2018). Clinical Evaluation of Indirect Particle-Filled Composite Resin CAD/CAM Partial Crowns after 24 Months. *Journal of Prosthodontics*, 27(8), 694-699. <https://doi.org/10.1111/jopr.12582>

Anexos:

Anexo I: Vantagens das Impressões Digitais em comparação com as impressões tradicionais (Ahlholm et al., 2018; Berrendero et al., 2016; Logozzo et al., 2014; Manisha et al., 2023; Zarauz et al., 2016)

Vantagens das Impressões Digitais	Descrição
Precisão melhorada	Os scanners intraorais 3D capturam com grande precisão os detalhes dentários e orais, minimizando o risco de erros.
Eliminação da instabilidade dos moldes	Ao contrário dos materiais tradicionais que podem deformar-se ou mudar dimensionalmente, os dados digitais permanecem estáveis e precisos.
Mais fiável/Redução das inconsistências geométricas	Os scanners digitais evitam os erros comuns das impressões convencionais, tais como distorções devido à retração do material ou bolhas de ar.
Experiência do paciente melhorada	A digitalização é geralmente mais rápida e confortável para os pacientes, eliminando o desconforto dos materiais de impressão tradicionais.

Anexo II: Desvantagens das Impressões Digitais em comparação com as impressões tradicionais (Logozzo et al., 2014)

Desvantagens das Impressões Digitais	Descrição
Custos iniciais elevados	Tecnologia e equipamento necessários representam um investimento significativo.
Necessidade de formação	A equipe precisa aprender a operar o novo equipamento digital.
Algumas limitações técnicas	Nalguns scans, pode ser necessário aplicar revestimentos nos dentes para garantir a precisão da digitalização.

Anexo III : Comparação de diferentes scanners intra-orais

Scanner	Técnica utilizada	Portátil	Operação sem pó	3D em tempo real	Imagem a cores	Formato STL	Fresagem no consultório
iTero	Imagem confocal paralela		✓	✓	✓		
3D Progress	Confocal e efeito Moiré	✓		✓		✓	
TRIOS	Confocal de alta velocidade		✓	✓	✓	✓	
CEREC	Triangulação e microscopia confocal			✓			✓
IOS FastScan	Triangulação e princípio de Scheimpflug					✓	
MIA3d	Visão estereoscópica ativa	✓	✓	✓		✓	
DirectScan	Visão estereoscópica			✓		✓	
Bluescan-I	Visão estereoscópica ativa	✓	✓	✓	✓	✓	
E4D	OCT/Confocal		✓	✓			✓

DPI - 3D	Interferometria de franjas de acordeão		✓	✓			
Lava C.O.S.	Amostragem ativa de frente de onda		✓	✓	✓		

*O termo "fresagem em consultório" refere-se a scanners como o CEREC e o E4D, que possuem uma unidade de fresagem diretamente integrada, o que não impede que alguns dos outros scanners acima mencionados também permitam a fresagem em consultório, mas através de dispositivos externos, graças a ligações com equipamentos complementares.