OPEN SCIENCE REVIEW21
ISSN 3086-4089

v.1, n.2, 2026

IMPLANTODONTIA DIGITAL CONTEMPORÂNEA: DO PLANEJAMENTO VIRTUAL AO FLUXO CLÍNICO-LABORATORIAL

CONTEMPORARY DIGITAL IMPLANT DENTISTRY: FROM VIRTUAL PLANNING TO THE CLINICAL-LABORATORY WORKFLOW

IMPLANTOLOGÍA DIGITAL CONTEMPORÁNEA: DE LA PLANIFICACIÓN VIRTUAL AL FLUJO CLÍNICO-LABORATORIAL

José Augusto Rodrigues [1], Patrícia Pedroso Novelli[2], Leandro Botelho Hanna[3], Tamires Szeremeske de Miranda[4]

e1211
https://doi.org/10.66649/3hmsjt78

PUBLICADO: 08/2026

RESUMO

O objetivo deste artigo é descrever os fundamentos da implantodontia digital e o fluxo clínico-laboratorial envolvido na integração entre tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT), escaneamento intraoral, planejamento virtual e confecção de guias cirúrgicos por tecnologias CAD-CAM. A implantodontia digital fundamenta-se na Cirurgia Assistida por Computador (CAIS), definida como um fluxo de trabalho abrangente que engloba etapas essenciais de diagnóstico e planejamento pré-operatório para atingir resultados previsíveis e seguros. Este paradigma consolidou o planejamento protético guiado, no qual o posicionamento tridimensional do implante é subordinado aos requisitos estéticos e funcionais da futura prótese. O processo inicia-se com a aquisição de dados volumétricos por CBCT, permitindo a análise detalhada do volume ósseo e de estruturas anatômicas críticas. Simultaneamente, o escaneamento intraoral captura a superfície dos tecidos moles e dentes, que substituem as moldagens físicas convencionais. A integração desses exames permite a construção do paciente virtual, etapa otimizada por algoritmos de inteligência artificial para garantir um registro tridimensional preciso. No estágio de Desenho Assistido por Computador (CAD), projeta-se o guia cirúrgico personalizado baseado no planejamento virtual. O dispositivo é materializado via Manufatura Assistida por Computador (CAM), utilizando tecnologias de impressão 3D ou fresagem. A execução da cirurgia guiada estática (s-CAIS) proporciona alta acurácia na transferência das coordenadas digitais para o campo operatório, assim, seu desenvolvimento primário visa garantir a precisão tridimensional na transferência do planejamento virtual para o campo operatório, independentemente da técnica de retalho escolhida. Conclui-se que a integração tecnológica entre CBCT, escaneamento e sistemas CAD-CAM eleva a previsibilidade biorestauradora e a segurança clínica das reabilitações sobre implantes.

PALAVRAS-CHAVE: Implantodontia Digital. Cirurgia Guiada. CAD-CAM. Navegação Dinâmica. Carga Imediata. Planejamento Reverso.

ABSTRACT

The objective of this article is to describe the fundamentals of digital implantology and the clinical-laboratory workflow involved in the integration of cone-beam computed tomography (CBCT), intraoral scanning, virtual planning, and the fabrication of surgical guides using CAD-CAM technologies. Digital implantology is based on Computer-Assisted Implant Surgery (CAIS), defined as a comprehensive workflow that encompasses essential diagnostic and preoperative planning steps to achieve predictable and safe results. This paradigm has consolidated restoratively driven planning, in which the three-dimensional positioning of the implant is subordinated to the aesthetic and functional requirements of the future prosthesis. The process begins with the acquisition of volumetric data via CBCT, allowing for a detailed analysis of bone volume and critical anatomical structures. Simultaneously, intraoral scanning captures the surface of soft tissues and teeth, replacing conventional physical impressions. The

[1] Cirurgião Dentista, Mestre e Doutor em Clínica Odontológica, Professor do PPG em Odontologia UNIVERITAS UNG.
[2] Cirurgião Dentista, Mestranda do PPG em Odontologia UNIVERITAS UNG.
[3] Cirurgião Dentista, Mestre, Doutorando do PPG em Odontologia UNIVERITAS UNG.
[4] Cirurgião Dentista, Mestra e Doutora em Odontologia, Professora do PPG em Odontologia UNIVERITAS UNG.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

integration of these examinations enables the construction of the virtual patient, a stage currently optimized by artificial intelligence algorithms to ensure precise three-dimensional registration between different datasets. In the Computer-Aided Design (CAD) stage, a customized surgical guide is designed based on the virtual planning. The device is materialized via Computer-Aided Manufacturing (CAM), utilizing 3D printing or milling technologies with biocompatible resins. The execution of static guided surgery (s-CAIS) provides high accuracy in transferring digital coordinates to the operative field; thus, its primary development aims to ensure three-dimensional accuracy in transferring the virtual plan to the surgical field, regardless of the flap technique selected. It is concluded that the technological integration between CBCT, scanning, and CAD-CAM systems enhances biorestorative predictability and clinical safety in implant-supported rehabilitations.
KEYWORDS: *Digital Implantology. Guided Surgery. CAD-CAM. Dynamic Navigation. Immediate Loading. Reverse Planning.*

RESUMEN
El objetivo de este artículo es describir los fundamentos de la implantología digital y el flujo de trabajo clínico-laboratorial involucrado en la integración de la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT), el escaneo intraoral, la planificación virtual y la fabricación de guías quirúrgicas mediante tecnologías CAD-CAM. La implantología digital se fundamenta en la Cirugía de Implantes Asistida por Computadora (CAIS), definida como un flujo de trabajo integral que abarca etapas esenciales de diagnóstico y planificación preoperatoria para alcanzar resultados predecibles y seguros. Este paradigma ha consolidado la planificación guiada por la restauración, en la cual el posicionamiento tridimensional del implante se subordina a los requisitos estéticos y funcionales de la futura prótesis. El proceso se inicia con la adquisición de datos volumétricos mediante CBCT, lo que permite un análisis detallado del volumen óseo y de las estructuras anatómicas críticas. Simultáneamente, el escaneo intraoral captura la superficie de los tejidos blandos y de los dientes, sustituyendo las impresiones físicas convencionales. La integración de estos exámenes permite la construcción del paciente virtual, una etapa actualmente optimizada por algoritmos de inteligencia artificial para garantizar un registro tridimensional preciso entre diferentes conjuntos de datos. En la etapa de Diseño Asistido por Computadora (CAD), se diseña una guía quirúrgica personalizada basada en la planificación virtual. El dispositivo se materializa mediante Manufactura Asistida por Computadora (CAM), utilizando tecnologías de impresión 3D o fresado con resinas biocompatibles. La ejecución de la cirugía guiada estática (s-CAIS) proporciona una alta precisión en la transferencia de las coordenadas digitales al campo operatorio, así, su desarrollo principal busca garantizar la precisión tridimensional en la transferencia de la planificación virtual al campo quirúrgico, independientemente de la técnica de colgajo seleccionada. Se concluye que la integración tecnológica entre CBCT, escaneo y sistemas CAD-CAM aumenta la predictibilidad biorrestauradora y la seguridad clínica en las rehabilitaciones implantosoportadas.
PALABRAS-CLAVE*: Implantología Digital. Cirugía Guiada. CAD-CAM. Navegación Dinámica. Carga Inmediata. Planificación Reversa.*

1- INTRODUÇÃO

A evolução da implantodontia contemporânea é marcada pela transição de um foco inicial estritamente cirúrgico para uma abordagem integrada, centrada no sucesso biológico, funcional e estético de longo prazo (1,2). Esse novo paradigma busca a sinergia entre a prótese, as características dos tecidos peri-implantares e a satisfação do paciente (3,4). Atualmente, o uso de tecnologias digitais tem sido amplamente adotado para permitir uma visualização abrangente da anatomia residual em relação à futura reabilitação antes de qualquer intervenção (5, 6).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

O conceito de planejamento reverso (*top-down*) consolidou-se como uma estratégia preferencial, na qual a posição planejada do implante é determinada pela restauração protética final (7,8). Esse método permite que fatores como estética, função oclusal e facilidade de higienização sejam priorizados frente ao volume ósseo isolado (7,9). Planejamentos que desconsideram o desenho virtual da prótese podem favorecer posicionamentos inadequados, elevando o risco de complicações mecânicas e até mesmo de doenças peri-implantares (8,9).

O diagnóstico tridimensional fundamenta-se no uso da tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT), que fornece informações sobre as dimensões ósseas e o trajeto de estruturas anatômicas críticas (10,11). Diferente da imaginologia 2D, a CBCT permite reconstruções planares que auxiliam na identificação de variações anatômicas, sendo essencial para a seleção do diâmetro e comprimento do implante (2,10). Essa precisão diagnóstica favorece maior previsibilidade e segurança nos procedimentos (1,12).

A associação da CBCT com escaneamento intraoral (IOS) aprimora o registro digital das arcadas, reduzindo limitações inerentes às moldagens físicas convencionais (13,14). O IOS captura a topografia dos tecidos moles e a posição dos dentes remanescentes com fidelidade, favorecendo o conforto do paciente (13,15). Além disso, esses dados permitem a criação de modelos virtuais que servem de base para o desenho em *softwares* de planejamento e para a confecção de dispositivos de precisão (10,16).

A junção de dados entre arquivos DICOM (da CBCT) e arquivos de superfície STL/PLY (do IOS) é o pilar para a construção do “paciente virtual” (2,6). *Softwares* dedicados utilizam algoritmos para sobrepor esses dados em um único sistema de coordenadas tridimensionais (7,10). Esse fluxo integrado permite que o operador manipule modelos 3D para otimizar o perfil de emergência e a distribuição de cargas oclusais, garantindo que o plano virtual seja condizente com a realidade clínica (2,17).

Apesar dos avanços na previsibilidade, a implementação do fluxo digital apresenta desafios, como os erros acumulados que podem ocorrer durante o registro de dados, processamento de *software* ou fabricação dos guias (9,18). A transição para essas tecnologias exige uma curva de aprendizado específica e o domínio de princípios biológicos e técnicos para que o resultado seja fiel ao planejado (19,20). Portanto, nota-se a necessidade de organizar didaticamente o fluxo clínico-laboratorial e compreender as fontes de imprecisão para maximizar a eficácia da implantodontia digital (4).

O objetivo deste artigo é descrever os fundamentos da implantodontia digital e o fluxo clínico-laboratorial envolvido na integração entre CBCT, escaneamento intraoral, planejamento virtual e confecção de guias cirúrgicos por tecnologias CAD-CAM (Desenho Assistido por Computador - Manufatura Assistida por Computador).

2- METODOLOGIA

Esta revisão narrativa foi elaborada através de uma busca estruturada na literatura científica focada no fluxo de trabalho digital em implantodontia, abrangendo desde o diagnóstico tridimensional até a reabilitação protética final. A seleção das fontes priorizou evidências publicadas entre 2010 e

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

2026, visando capturar os avanços tecnológicos mais recentes em cirurgia assistida por computador (CAIS) e manufatura aditiva. As bases de dados consultadas incluíram PubMed/MEDLINE e Scopus, utilizando descritores em língua inglesa e portuguesa *"computer-assisted implant surgery"*, *"guided surgery"*, *"digital workflow"*, e *"3D printing"*.

Os critérios de inclusão compreenderam estudos clínicos prospectivos, ensaios clínicos randomizados, revisões sistemáticas com metanálise e relatos de casos que descrevessem a integração de dados DICOM e STL para a construção do paciente virtual. Foram selecionados artigos que abordassem especificamente as modalidades de Cirurgia de Implante Assistida por Computador Estática (s-CAIS) e de navegação dinâmica (d-CAIS), além de protocolos de carga imediata e personalização de componentes protéticos via CAD-CAM. Adicionalmente, foram incluídas investigações sobre novos biomateriais e o uso de tecnologias emergentes como a realidade mista e inteligência artificial.

A análise e síntese das informações foram realizadas de forma temática, organizando o conteúdo em etapas clínicas sequenciais para facilitar a compreensão do fluxo digital completo. Os artigos foram avaliados quanto à sua relevância técnica e contribuição para a previsibilidade dos resultados clínicos, com foco especial na acurácia do posicionamento dos implantes e na estabilidade dos tecidos moles.

3- COLETA DE DADOS E DIAGNÓSTICO TRIDIMENSIONAL

Avaliação Clínica e Sistêmica

O sucesso na implantodontia digital contemporânea inicia-se com uma avaliação diagnóstica abrangente, fundamentada na coleta detalhada da história médica, dental e psicossocial do paciente (3). Essa etapa é indispensável para estabelecer um perfil de risco individualizado e selecionar candidatos que não apresentem contraindicações locais ou sistêmicas severas à intervenção cirúrgica (12,21). A triagem inicial permite identificar as queixas principais, como a incapacidade mastigatória ou a insatisfação estética, permitindo que o planejamento digital seja direcionado para atender às expectativas reais e valores do indivíduo (3,5).

A análise das condições sistêmicas é crítica, especialmente em pacientes que utilizam medicamentos com impacto direto no metabolismo ósseo ou na coagulação. Indivíduos com histórico prolongado de uso de antirreabsortivos exigem um manejo clínico rigoroso e uma análise de risco-benefício aprofundada para mitigar o perigo de osteonecrose dos maxilares (22,23).

A estratificação do risco cirúrgico é rotineiramente realizada através da classificação da American Society of Anesthesiologists (ASA), sendo o fluxo digital frequentemente aplicado em pacientes ASA I ou II (6,18). Condições sistêmicas estáveis, como hipertensão leve e diabetes controladas, permitem a execução de protocolos avançados de carga imediata com segurança (24). O planejamento pré-operatório deve confirmar que a estabilidade geral do paciente é compatível com a duração do procedimento e com os requisitos biológicos para a reabilitação funcional imediata (25,26).

No exame físico extraoral, a análise da dinâmica do sorriso é um pilar do planejamento reverso, englobando a avaliação da linha do sorriso, suporte labial e grau de exposição gengival (5,27).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Assimetrias faciais, desvios da linha média dentária e a configuração dos corredores bucais devem ser criteriosamente documentados para fundamentar o desenho digital do sorriso (13,24). Essa avaliação macroestética fornece as coordenadas necessárias para o posicionamento virtual dos implantes, garantindo que a prótese final guarde harmonia com as características faciais do paciente (13,26).

O exame intraoral concentra-se na saúde dos tecidos moles, no fenótipo periodontal e na integridade do rebordo alveolar remanescente (2). É imperativo que o paciente apresente controle de biofilme adequado e que patologias ativas, como lesões de cárie ou afecções periodontais, sejam tratadas previamente à instalação dos implantes (1,16).

Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (CBCT)

A adoção da Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (CBCT) revolucionou o diagnóstico em implantodontia ao proporcionar uma compreensão tridimensional detalhada das estruturas anatômicas, superando as limitações das imagens bidimensionais convencionais (2,9). Esta tecnologia permite a avaliação precisa das dimensões do osso residual, bem como a localização de reparos anatômicos críticos, como o canal mandibular, cavidade nasal, o seio maxilar e a proximidade com dentes adjacentes (10,24). O uso de imagens volumétricas no pré-operatório é fundamental para analisar a morfologia óssea corretamente e observar a necessidade de enxertos ósseos (9,12).

Os parâmetros técnicos da CBCT envolvem a seleção cuidadosa do tamanho do voxel e do campo de visão (FOV). Um voxel de 200 µm é geralmente considerado suficiente para o planejamento de implantes, embora resoluções mais finas possam ser aplicadas para visualizar detalhes anatômicos complexos (2,18). A gestão da dose de radiação deve seguir o princípio ALADAIP (As Low As Diagnostically Acceptable, Indication-oriented and Patient-specific), garantindo que a exposição seja a menor possível para atingir o objetivo diagnóstico (2,28). O FOV deve ser selecionado de modo a abranger a região de interesse e assegurar a identificação de pontos de registro suficientes para o fluxo de trabalho digital (2,6).

O processamento dos dados de CBCT possibilita a criação de reconstruções planares oblíquas ou curvas, permitindo a simulação de imagens panorâmicas sem as distorções inerentes aos métodos tradicionais (2,29). O clínico pode gerar cortes transversais seriados que oferecem vistas detalhadas do sítio cirúrgico sob múltiplos ângulos, elevando a precisão diagnóstica na seleção das dimensões do implante (2, 6). Essa capacidade de visualização multiplanar é um pré-requisito para um planejamento virtual previsível e para a redução da morbidade cirúrgica (10,30).

Apesar de sua utilidade, a CBCT apresenta desafios como a ocorrência de artefatos de imagem causados por restaurações metálicas ou movimentos do paciente (2,10). Tais artefatos podem distorcer o volume ósseo e as superfícies dentárias, exigindo o processamento manual dos dados para mitigar imprecisões (10,31). A presença de artefatos metálicos provenientes de restaurações, implantes ou componentes ortodônticos gera 'ruídos' que mascaram a anatomia óssea e as superfícies dentárias, sendo uma das principais fontes de erro no alinhamento inicial (11,12). Além disso, os valores de cinza na CBCT não são padronizados, o que torna as unidades tradicionais da tomografia médica inaplicáveis para medições totalmente confiáveis de densidade óssea no ambiente de planejamento (10,29).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

As imagens da CBCT são armazenadas no formato universal DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine), que contém informações geométricas e detalhes de aquisição (10,18). Esses arquivos atuam como o "mapa anatômico" fundamental sobre o qual os escaneamentos de superfície são registrados para a construção do paciente virtual (2,8).

Escaneamento Intraoral (IOS)

O escaneamento intraoral (IOS) consolidou-se como uma tecnologia fundamental na implantodontia digital, permitindo a captura óptica da superfície dos tecidos moles e dentes remanescentes de forma eficiente (2,13). Essa ferramenta reduz significativamente as limitações inerentes às moldagens físicas convencionais, como as distorções volumétricas dos materiais elastoméricos e do gesso (15,18). Além da precisão técnica, o IOS oferece maior conforto ao paciente, eliminando o risco de náuseas e otimizando o tempo de cadeira clínica (14,15,32).

Os dispositivos de escaneamento geram arquivos digitais em formatos universais, como Standard Tessellation Language (STL) e Polygon File Format (PLY), que servem de base para o fluxo de trabalho (2,10). Enquanto o arquivo STL registra apenas a geometria de superfície, o formato PLY preserva informações de cor e textura, facilitando a diferenciação entre dentes, mucosa e restaurações (10,12). A integração desses dados permite que o clínico exporte as informações para diferentes softwares de planejamento e laboratórios de prótese (7,10,12).

Na fase cirúrgica, a transferência da posição e inclinação dos implantes para o ambiente virtual é realizada através de dispositivos parafusados sobre os implantes ou pilares, permitindo que o software identifique a localização tridimensional precisa da conexão protética (21,30,33). O uso de scanbodies customizados ou técnicas de "individualização" tem sido descrito para capturar fielmente o perfil de emergência, garantindo resultados estéticos superiores na reabilitação final (14,34,35).

Para otimizar a fidelidade do registro em dentes pilares, técnicas como o cut out-rescan são aplicadas, permitindo apagar áreas de imprecisão e re-escanear apenas o término cervical após o afastamento gengival (14,36). Esse refinamento digital assegura que a adaptação marginal das coroas sobre implantes e dentes naturais seja equivalente ou superior aos métodos analógicos (14,18). A possibilidade de sobrepor escaneamentos pré e pós-operatórios também facilita o monitoramento de alterações volumétricas dos tecidos peri-implantares ao longo do tempo (14,15,37).

Em casos complexos, como reabilitações de arco total, o IOS pode ser integrado a tecnologias complementares, como a fotogrametria e o escaneamento facial (15,6). A fotogrametria (ICam4D) é particularmente útil para determinar a posição relativa de múltiplos implantes com alta acurácia, superando as limitações de erro acumulado do IOS em áreas desdentadas (15,6). A fusão desses dados com o escaneamento de face permite a construção de um paciente virtual completo, em que a dinâmica do sorriso orienta o posicionamento protético guiado (13,15,24).

Registros Complementares e Digitais

Embora a tomografia computadorizada e o escaneamento intraoral sejam os pilares fundamentais, a incorporação de registros complementares é essencial para a construção de um "paciente virtual" fidedigno, especialmente em reabilitações de alta complexidade (2,13). A fotografia 2D convencional continua sendo uma ferramenta primária para a análise macroestética, permitindo a

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

avaliação criteriosa da linha do sorriso, do suporte labial em repouso e da configuração dos corredores bucais (13,24,26). Contudo, a evolução para o escaneamento facial 3D permite capturar a volumetria da face em um ambiente tridimensional, integrando a dinâmica facial diretamente ao sistema de coordenadas do planejamento dos implantes (2,15,38).

O uso de scanners faciais e fotogrametria tem se mostrado útil na definição da posição relativa de múltiplos implantes em casos de reabilitação total, superando limitações de erro acumulado do escaneamento intraoral (6,15,24). Esses sistemas permitem sobrepor a dinâmica do sorriso e os tecidos moles faciais aos modelos ósseos e dentários, criando camadas de informação que orientam o posicionamento protético guiado (2,15,25). Essa integração digital auxilia o clínico a prever como a futura restauração afetará o perfil facial e a satisfação subjetiva do paciente antes da intervenção cirúrgica (13,15,25).

O protocolo de Digital Smile Design (DSD) atua ainda como uma ferramenta indispensável de planejamento e comunicação, utilizando marcos faciais para guiar o enceramento digital e o desenho da prótese (mock-up) (13,39,40). Softwares de planejamento atuais incorporam algoritmos de inteligência artificial para detectar a dentição remanescente e propor formas anatômicas que respeitem as proporções faciais e as linhas de referência do paciente (6,13,41), reforçando o conceito de planejamento reverso e aumentando a previsibilidade do resultado (7,21,42).

Além dos registros estéticos, a cinética mandibular e o registro da oclusão dinâmica podem ser capturados digitalmente para assegurar a harmonia funcional (2,43). O uso de arcos faciais digitais e a transferência para articuladores virtuais permitem que parâmetros como a dimensão vertical de oclusão (DVO) e as guias de desoclusão sejam validados no software antes da confecção da prótese (15,24,43). Essa etapa é crucial para garantir a passividade das infraestruturas CAD-CAM e a estabilidade oclusal de longo prazo, reduzindo significativamente a necessidade de ajustes clínicos durante a instalação da prótese definitiva (5,37,44).

4- INTEGRAÇÃO DE DADOS E CONSTRUÇÃO DO PACIENTE VIRTUAL

Fusão e Registro de Dados (DICOM/STL/PLY)

O registro de dados 3D é o processo de alinhamento preciso de diferentes conjuntos de dados digitais, primariamente arquivos DICOM (oriundos da CBCT) e escaneamentos de superfície em formatos STL, PLY ou OBJ, dentro de um único sistema de coordenadas tridimensionais (2,7). Esta etapa é fundamental, pois a CBCT oferece informações de alta resolução sobre tecidos duros, mas apresenta limitações na visualização de detalhes das superfícies dentárias e tecidos moles devido a artefatos (10). Os escaneamentos fornecem geometria de superfície precisa e, no caso de arquivos PLY, preservam informações de cor e textura que auxiliam na diferenciação tecidual (10,12). A sobreposição precisa dessas camadas permite uma visualização realista da anatomia residual e sua relação direta com a futura reabilitação protética (5,6).

Nesse fluxo de trabalho, o software de planejamento estabelece um espaço tridimensional, cujas coordenadas geralmente derivam do posicionamento real do paciente durante a aquisição da CBCT, no qual o arquivo de escaneamento de superfície é registrado (7,10). Mesmo quando o processo

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

não é explicitamente selecionado pelo usuário, o sistema de coordenadas da CBCT atuará como a referência geométrica para o alinhamento final (6,7). Essa integração resulta na construção do "paciente virtual", composto por múltiplas camadas de imagem, o que viabiliza uma análise diagnóstica reversa orientada pelo projeto estético e funcional (2,21).

As técnicas de alinhamento variam desde a seleção manual de marcos anatômicos ou pontos fiduciários idênticos, frequentemente pelo menos três pontos, como fissuras ou pontas de cúspides; até o uso de guias radiográficos com marcadores específicos (18,24). Em pacientes totalmente desdentados, nos quais os marcos anatômicos estáveis são escassos, marcadores radiopacos fixados à prótese ou a uma placa de registro são essenciais para assegurar a precisão da superposição (9,45). Protocolos de mapeamento de superfície permitem a realização de cirurgias guiadas através do pareamento de múltiplos pontos da superfície de modelos digitais com os dados anatômicos correspondentes na CBCT (10,46).

Softwares de planejamento de implante assistido por computador (CAD-IPS) têm utilizado cada vez mais algoritmos de inteligência artificial (IA) para automatizar o processo de registro e segmentação (13,47). As IAs podem detectar automaticamente a dentição remanescente e sobrepor dados DICOM e STL sem a necessidade de intervenção manual extensiva, reduzindo a variabilidade entre operadores e aumentando a eficiência clínica (6,41,48). Assim, se otimiza a comunicação interdisciplinar, e se eleva o nível de acurácia no posicionamento virtual dos implantes ao reduzir erros humanos durante o alinhamento de pontos (13,48).

A validação final do alinhamento é uma etapa clínica crítica, frequentemente realizada através de inspeção visual detalhada em múltiplos planos para confirmar se o contorno do escaneamento óptico coincide com os limites radiográficos dos tecidos (2,45). Erros nesta fase podem comprometer a previsibilidade de todo o fluxo digital subsequente, afetando a precisão do guia cirúrgico (4,7). Assim, a remoção criteriosa de artefatos na CBCT e a conferência da passividade dos modelos virtuais sobre as estruturas anatômicas são fundamentais para garantir que o plano virtual represente fielmente a condição cirúrgica real (10,18).

Segmentação e Validação do Paciente Virtual

A construção do paciente virtual é consolidada pela integração de múltiplas camadas de dados diagnósticos, incluindo arquivos DICOM da CBCT, escaneamentos de superfície (STL/PLY) e, em casos complexos, escaneamentos faciais 3D (2,38). Esse modelo digital multiestratificado permite ao clínico visualizar a anatomia do paciente sob diversas perspectivas, facilitando uma análise diagnóstica que correlaciona a dinâmica estética facial com a disponibilidade óssea residual (2,21). A fidelidade desse paciente virtual sustenta a previsibilidade do planejamento cirúrgico e protético (21,38).

A segmentação de dados é o processo técnico de isolar estruturas anatômicas específicas, como dentes individuais, volume ósseo, seios maxilares e o canal mandibular, para transformá-las em objetos 3D independentes e manipuláveis (2,10). Essa etapa permite avaliar a morfologia do tecido duro sem a sobreposição de outras estruturas, analisando a relação espacial entre as raízes dos dentes adjacentes e o trajeto de nervos críticos (10,31).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Ferramentas baseadas em IA têm otimizado a segmentação, automatizando a detecção do canal mandibular e a delimitação das corticais ósseas com alta acurácia (13,41). Tais algoritmos reduzem significativamente o tempo de processamento manual e a variabilidade entre operadores, proporcionando uma base anatômica mais padronizada para o planejamento (41,47). A segmentação automatizada de dentes remanescentes e ausentes auxilia na proposição imediata de formas protéticas que respeitem os limites biológicos do rebordo (13,47).

Assim, a extração virtual permite visualizar a morfologia do alvéolo fresco e planejar a instalação do implante em uma posição que otimize o perfil de emergência da futura prótese (2,13). Essas manipulações são fundamentais para fluxos de trabalho de carga imediata, em que a prótese provisória é desenhada sobre o modelo segmentado antes mesmo do ato cirúrgico real (13,49).

A validação do paciente virtual é uma etapa clínica indispensável que consiste na conferência da precisão do registro e da segmentação através de ferramentas de inspeção visual (45,46). Funções como o "check alignment" permitem ao operador verificar se o contorno do escaneamento intraoral coincide perfeitamente com a superfície radiográfica dos dentes e ossos, frequentemente utilizando cores distintas para cada camada (6,46). Qualquer imprecisão observada nesta fase, como desvios entre as superfícies oclusais virtuais e reais, exige o reinício do processo de alinhamento para evitar erros em cascata no guia cirúrgico (6,45).

A segurança de todo o fluxo de cirurgia assistida por computador depende da integridade geométrica desse modelo validado, que deve refletir com exatidão a situação clínica intraoral (4,18). Erros de registro de alvo (TRE) podem ocorrer se a segmentação falhar em capturar marcos anatômicos estáveis ou se houver distorções nos arquivos originais (4,7). Portanto, o domínio das etapas de segmentação e validação assegura que o plano virtual seja transformado em uma execução cirúrgica fiel, minimizando riscos de danos a estruturas nobres (7,18).

5- PLANEJAMENTO VIRTUAL E DESENHO PROTÉTICO CAD

Planejamento Protético Reverso

O planejamento protético reverso representa uma mudança de paradigma fundamental na implantodontia contemporânea, no qual o ponto de partida para todo o tratamento é o desenho da futura prótese (7,9,50). Diferente da abordagem convencional orientada exclusivamente pela disponibilidade óssea residual, o fluxo digital integrado permite que as necessidades estéticas, funcionais e biológicas ditem a posição tridimensional ideal dos implantes (2,7,51). Essa estratégia assegura que o sistema de implante seja planejado considerando a interação dinâmica entre a restauração, o complexo supracrestal e os tecidos peri-implantares (2,9,51).

A etapa inicial envolve a criação de um enceramento digital ou set-up virtual, que é rigorosamente guiado por parâmetros de oclusão, fonética e pelas expectativas estéticas do paciente (2,13,49). Através de softwares de desenho CAD, pode-se projetar a morfologia dental final sobre o modelo virtual das arcadas, harmonizando o sorriso com a dinâmica facial capturada por fotografias ou escaneamentos 3D (5,13,39). Esse projeto protético atua como o gabarito espacial que define as

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

coordenadas necessárias para orientar as fases subsequentes de osteotomia e instalação do implante (2,5,25).

O planejamento do complexo supracrestal do implante, parte transmucosa do sistema, é essencial para o desenho do perfil de emergência (2,31,51). O desenho virtual dessa região permite prever o suporte necessário para os tecidos moles, visando mimetizar a anatomia dos dentes naturais e evitar complicações estéticas ou biológicas decorrentes de restaurações inadequadas (2,34,52). Essa abordagem assegura que a conexão entre o implante e a coroa seja otimizada desde a fase de projeto, promovendo a estabilidade volumétrica e a saúde dos tecidos peri-implantares a longo prazo (2,31,53).

A visualização proporcionada pelo planejamento protético guiado facilita a comunicação interdisciplinar e a obtenção do consentimento informado do paciente (13,21,54). O uso de ferramentas como o DSD e a confecção de mock-ups permitem que os resultados planejados sejam validados em boca antes de qualquer intervenção cirúrgica invasiva (21,24,39).

Nos softwares de planejamento de implantes assistido por computador (CAD-IPS), o envelope virtual da prótese é sobreposto aos dados anatômicos da CBCT, permitindo simular a posição do implante que melhor suporte a carga oclusal projetada (7,8,9). Assim, a integração fluida em que a coroa guia o posicionamento do implante é o que define a excelência na cirurgia assistida (7,8,55). Essa análise integrada garante que o implante seja instalado respeitando as distâncias de segurança em relação às raízes adjacentes e estruturas nobres, sem comprometer o resultado protético (8,9,28).

O planejamento reverso é importante para reduzir falhas mecânicas e biológicas futuras decorrentes de implantes mal posicionados (9,56,57). Implantes posicionados apenas onde há osso disponível, sem considerar a restauração, frequentemente resultam em dificuldades de higienização, perfis de emergência desfavoráveis e sobrecargas biomecânicas prejudiciais (9,46,58). Ao trabalhar de forma regressiva a partir do resultado final ideal, o clínico pode identificar precocemente a necessidade de procedimentos de aumento ósseo ou de tecidos moles para viabilizar a prótese (9,46,56).

Dessa forma, as diretrizes do fluxo clínico-laboratorial estabelecem desde o planejamento da redução óssea guiada até a fabricação de próteses imediatas pré-operatórias (2,5,44). A subordinação da etapa cirúrgica ao projeto restaurador consolidou a implantodontia digital como uma disciplina focada na precisão biorestauradora e na satisfação funcional do paciente (2,4,59).

Posicionamento Virtual dos Implantes

O posicionamento virtual dos implantes representa o estágio central do planejamento assistido por computador (CAD-IPS), em que os dados anatômicos e protéticos são harmonizados em um ambiente tridimensional (2,10). Essa etapa transcende a simples busca por volume ósseo, focando na criação de um sistema integrado que garanta a longevidade biomecânica e a saúde dos tecidos peri-implantares (4,51).

A definição do tipo, diâmetro e comprimento do implante é realizada com base nas exigências da superestrutura e nas restrições anatômicas visualizadas (10,14). O clínico deve determinar o eixo de inserção que melhor se alinhe ao projeto protético, visando um perfil de emergência natural e uma distribuição de cargas oclusais favorável (30,49). Bibliotecas digitais de implantes fornecidas pelos

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

fabricantes garantem que as dimensões virtuais correspondam exatamente aos dispositivos que serão instalados, permitindo simular a estabilidade primária teórica (2,6).

Parâmetros biológicos rigorosos orientam o posicionamento, como a manutenção de uma distância mínima de 2 mm entre o implante e a crista óssea vestibular para prevenir deiscências e recessão tecidual (2,30). Em termos de profundidade, recomenda-se que a plataforma do implante seja posicionada de 3 a 4 mm apicalmente ao ponto do zênite restaurador prospectivo para otimizar o espaço biológico supracrestal (30,51).

A segurança cirúrgica é reforçada pela capacidade do software em delimitar zonas de exclusão e visualizar reparos anatômicos críticos, como o canal mandibular, fossa nasal e o seio maxilar (2,9). Ferramentas de inspeção em múltiplos planos, incluindo reconstruções transversais (cross-sections) e panorâmicas, permitem verificar a proximidade do implante com as raízes dos dentes adjacentes (10,12).

A interação com o ambiente virtual é facilitada por ferramentas intuitivas de translação, rotação e inclinação, que permitem o refinamento do posicionamento sob diversas perspectivas clínicas (10,46). A visualização simultânea do enceramento digital e do volume ósseo permite ajustes finos na angulação, garantindo que o orifício de saída do parafuso protético esteja localizado em áreas não estéticas (2,49). Essa análise multiestratificada reduz a dependência da intuição do operador, padronizando a precisão do planejamento entre diferentes casos clínicos (6,9).

A IA também pode realizar a predição automatizada da posição dos implantes, baseando-se em algoritmos treinados com grandes volumes de dados diagnósticos (41,47), sugerindo posicionamentos otimizados que equilibram a disponibilidade óssea com as trajetórias protéticas ideais de forma instantânea (41,48). Embora a decisão final permaneça com o clínico, a IA atua como uma ferramenta poderosa para aumentar a eficiência e mitigar o erro humano durante o desenho do plano de tratamento (13,47).

A consolidação do posicionamento virtual culmina na validação do "Paciente-Otimizado" ou posição Bio-Restauradora, que preenche integralmente os requisitos biológicos, mecânicos e funcionais (7,51). Esta fase de simulação permite identificar precocemente a necessidade de procedimentos regenerativos, como levantamento de seio ou enxertos, antes da execução física do caso (9,12). Uma vez validado, o plano de posicionamento serve como a base geométrica inalterável para o desenho do guia cirúrgico CAD-CAM ou para a programação de sistemas de navegação dinâmica (2,4).

Desenho do Guia Cirúrgico (CAD):

O desenho do guia cirúrgico assistido por computador é o processo de transformar o planejamento virtual em um dispositivo físico capaz de transferir as coordenadas tridimensionais do implante para o campo operatório (2,9). Esta etapa é realizada em softwares especializados (CAD-IPS), em que o clínico desenha a geometria do guia sobre o modelo do paciente após a definição da posição ideal do implante (9,23). A validação final do desenho é essencial para assegurar que o planejamento reverso seja respeitado, garantindo que o ponto de entrada e a trajetória da fresagem correspondam fielmente ao projeto restaurador (2,9,21).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Durante a fase CAD, a seleção do tipo de suporte do guia, dentário, mucoso, ósseo ou híbrido, é determinada pelas características anatômicas do sítio cirúrgico (2,10). Em casos de edentulismo parcial, o suporte dentário é frequentemente a escolha preferencial devido à sua alta estabilidade e precisão de assentamento (7,18). Parâmetros técnicos como a espessura do guia, geralmente fixada em 3 mm para evitar flexões, a extensão da área de suporte e a incorporação de janelas de inspeção vestibular são definidos no software para permitir a verificação visual da passividade do dispositivo durante a cirurgia (2,18,19).

O desenho dos orifícios de orientação envolve a escolha entre sistemas com anilhas metálicas (sleeve) ou formas sem anilhas (sleeveless), que interagem diretamente com as chaves de perfuração (4,7). Anilhas abertas (open-sleeve) podem ser planejadas para regiões posteriores com espaço limitado, permitindo o acesso lateral das brocas (7,9). Assim, a distância vertical entre a base da anilha e a crista óssea é meticulosamente calculada no CAD para garantir que o protocolo de fresagem atinja a profundidade planejada sem desvios axiais (4,7,10).

Para reabilitações complexas total de arco, o processo CAD pode incluir o desenvolvimento de guias empilháveis (stackable guides), que consistem em camadas sequenciais para guiar a redução óssea, a instalação dos implantes e o posicionamento da prótese provisória (26,44). Esses sistemas integrados utilizam pinos de fixação óssea e travas magnéticas ou mecânicas para eliminar micromovimentações durante o ato cirúrgico (7,26). Inovações recentes permitem ainda a incorporação de canais de irrigação interna no desenho do guia, otimizando o resfriamento térmico da fresa em procedimentos flapless de alta precisão (44,45).

6- TRANSFERÊNCIA PARA O CAMPO CIRÚRGICO (CAM) E EXECUÇÃO

Fabricação e Validação Clínica do Guia

A materialização do guia cirúrgico ocorre através de tecnologias CAD-CAM, podendo ser realizada via manufatura aditiva, impressão 3D; ou subtrativa, fresagem (2,60). Na técnica aditiva, tecnologias como DLP (Digital Light Processing) utilizam resinas biocompatíveis certificadas para criar estruturas precisas a custos operacionais reduzidos em comparação aos métodos convencionais (4,60). Por outro lado, o processo de fresagem utiliza blocos de polimetilmetacrilato (PMMA), oferecendo alta estabilidade estrutural e resistência à deformação (40,60). Embora estudos indiquem que a precisão de ambos os métodos é clinicamente aceitável, a impressão 3D tem se tornado a escolha preferencial devido à sua agilidade e menor desperdício de material (4,61).

Após a fabricação, etapas de pós-processamento são vitais para assegurar a integridade do dispositivo, incluindo a limpeza em álcool isopropílico e a fotopolimerização final em unidades de cura Ultravioleta, que garantem as propriedades mecânicas e a biocompatibilidade da resina (4,60). A integração de anilhas metálicas nos orifícios de orientação direciona o conjunto de fresas, embora desenhos contemporâneos possam utilizar sistemas sleeveless que interagem diretamente com a geometria do guia (2,10). É imperativo que o clínico siga rigorosamente os protocolos de calibração dos equipamentos e as recomendações de espessura mínima do desenho para mitigar variações dimensionais que possam comprometer a fidelidade do dispositivo durante o ato cirúrgico (4,10,60).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A validação clínica é a etapa final antes da execução cirúrgica que consiste no teste exaustivo de assentamento, estabilidade e passividade do guia na boca do paciente (24,49). A inspeção visual é facilitada por janelas estrategicamente posicionadas no desenho CAD, permitindo ao cirurgião verificar se o guia está perfeitamente adaptado à superfície de suporte, seja ela dentária, mucosa ou óssea (2,18). Após essa validação criteriosa, o planejamento virtual é considerado transferido com segurança para o campo operatório real (2,12).

É imperativo que antes do ato operatório deva-se atentar aos princípios de assepsia das guias cirúrgicas destinadas a quaisquer técnicas cirúrgicas empregadas. O controle microbiológico deve ser feito por meios que não alterem dimensionalmente as guias em todos os planos espaciais, sendo recomendado para uso em consultório, imersão em solução aquosa de digluconato de clorexidina a 2% em tempo hábil para que haja efetividade.

Cirurgia Guiada Estática (s-CAIS)

A Cirurgia de Implante Assistida por Computador na modalidade estática (s-CAIS) é definida como o uso de tecnologias digitais e softwares para planejar a posição tridimensional otimizada do implante, seguida pelo uso de guias cirúrgicos fabricados via CAD-CAM para auxiliar na osteotomia e instalação (4,7). Embora novas tecnologias como a navegação dinâmica e a robótica tenham surgido, a técnica estática permanece como a modalidade dominante para a colocação guiada de implantes na prática clínica contemporânea (2,4). O fluxo de trabalho s-CAIS permite a transferência fiel do planejamento virtual para o campo operatório, reduzindo a dependência da intuição visual do cirurgião e padronizando os resultados (4,9).

A execução clínica da s-CAIS requer kits cirúrgicos guiados específicos (GISK), que incluem fresas com limitadores de profundidade físicos (stops) e chaves de orientação que interagem com as anilhas do guia (4,7). As anilhas, que podem ser feitas de metal, PEEK ou zircônia, servem para guiar as fresas com tolerâncias mecânicas precisas, minimizando vibrações e desvios axiais (4,7,9). Em regiões posteriores com abertura bucal limitada, anilhas abertas (open-sleeves) podem ser utilizadas para permitir o acesso lateral dos instrumentos, superando restrições espaciais comuns em guias convencionais de anilha fechada (9,7,62).

Uma das principais vantagens da s-CAIS é a viabilização de cirurgias minimamente invasivas, como a técnica flapless, que dispensa a elevação de retalhos mucoperiosteais (12,22,23,63) e mantém a intimidade do periósteo com a superfície do osso alveolar bem como a nutrição sanguínea de maneira plena. Essa abordagem reduz significativamente o sangramento transoperatório, o tempo de cadeira e o desconforto pós-operatório do paciente, favorecendo um reparo mais rápido dos tecidos moles (4,22,23,44). Além disso, a alta precisão no posicionamento permite a execução previsível de protocolos de carga imediata, em que a prótese provisória pré-fabricada pode ser instalada com ajustes mínimos logo após a cirurgia (6,18,49). Vale ressaltar que a s-CAIS é uma ferramenta de transferência de coordenadas e não uma técnica inerentemente sem retalho.

Estudos comparativos demonstram que a s-CAIS oferece acurácia superior em relação à técnica manual (freehand), apresentando menores desvios globais tanto na plataforma quanto no ápice

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

do implante (4,18,19). No entanto, a literatura ressalta que o guia estático limita a propriocepção táctil do operador e a visualização direta da anatomia óssea, o que pode ser uma desvantagem para profissionais em fase inicial de treinamento (4,19). Além disso, a s-CAIS é um sistema rígido que não permite alterações de posicionamento durante o ato cirúrgico; caso ocorra um erro de assentamento do guia, todo o planejamento virtual é comprometido (6,12,16).

O custo-benefício da técnica estática tem sido amplamente discutido, com evidências apontando que, apesar do investimento inicial em software e fabricação, a redução no tempo cirúrgico e a mitigação de complicações graves justificam seu uso em casos de alta complexidade (2,4). Sistemas de impressão 3D de consultório têm tornado a s-CAIS mais acessível e ágil, permitindo que o cirurgião controle todas as etapas da produção do guia (4,60). Contudo, o clínico deve dominar os princípios biológicos e biomecânicos, pois a tecnologia deve servir como uma ferramenta auxiliar e não como substituta para o julgamento clínico crítico (4,16).

Assim, a s-CAIS consolidou-se como um pilar da implantodontia digital por oferecer previsibilidade e segurança, especialmente em reabilitações extensas e áreas estéticas (2,4,49). O futuro da técnica reside no refinamento dos componentes e na integração de algoritmos de inteligência artificial para otimizar o desenho dos guias e reduzir ainda mais os erros acumulados do fluxo de trabalho (2,13).

Navegação Dinâmica (d-CAIS) e Realidade Mista

A Cirurgia de Implante Assistida por Computador na modalidade dinâmica (d-CAIS), ou cirurgia navegada, utiliza sistemas de rastreamento óptico para fornecer orientação em tempo real durante a instrumentação cirúrgica (2,9). Através de sensores fixados à peça de mão e à anatomia do paciente, câmeras estereoscópicas triangulam as posições e projetam a localização exata da fresa sobre um "mapa anatômico" derivado da CBCT pré-operatória (2,6). Essa tecnologia permite que o cirurgião visualize a progressão da osteotomia em relação às estruturas críticas e ao plano protético sem as limitações de um gabarito físico (2,9).

Uma das principais distinções da d-CAIS em relação à técnica estática é a flexibilidade intraoperatória, permitindo que ajustes de posição, inclinação e profundidade sejam realizados durante o ato cirúrgico (6, 16). Por não utilizar guias físicos que encobrem o campo, o sistema navegado favorece a visibilidade direta, a irrigação abundante do sítio cirúrgico e a preservação da propriocepção táctil do operador (6, 4). Além disso, a modalidade dinâmica evita as barreiras espaciais em pacientes com abertura bucal limitada, nos quais o uso de guias e anilhas estáticas poderia ser inviável (7,9).

Em termos de acurácia, evidências sugerem que a navegação dinâmica oferece resultados superiores à técnica a mão livre e comparáveis à cirurgia guiada estática, especialmente no controle do desvio angular (16,19). Estudos de acompanhamento clínico demonstram que o sistema é confiável para reabilitações de arco total com carga imediata, garantindo que os implantes sejam instalados com desvios mínimos em relação às coordenadas planejadas (6, 5). No entanto, o sucesso do procedimento depende de um fluxo rigoroso de calibração e registro para assegurar a fidelidade entre o ambiente virtual e o campo operatório (7,9).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A integração da Realidade Mista representa um avanço tecnológico que sobrepõe hologramas 3D do planejamento diretamente sobre a visão do cirurgião através de dispositivos como o HoloLens 2 (12,12). Na navegação baseada em realidade mista (MR-DN), o clínico visualiza as trajetórias, dentes adjacentes e estruturas anatômicas projetadas sobre o paciente, eliminando a necessidade de desviar o olhar para monitores externos (11,12). Essa abordagem imersiva torna o procedimento mais intuitivo e ergonômico, reduzindo a fadiga mental associada à coordenação mão-olho-tela (11,12).

Apesar do potencial inovador, o fluxo dinâmico e a realidade mista apresentam desafios como o alto custo de implementação e uma curva de aprendizado técnica considerável (16,19). O futuro dessas tecnologias reside na convergência com a IA visando automatizar o registro de dados e simplificar a calibração de instrumentos de forma independente de marcadores físicos (13,41).

7- FASE RESTAURADORA E REABILITAÇÃO FINAL

Provisionalização e Carga Imediata

A carga imediata é definida como a instalação de uma prótese implantossuportada em um período de até 48 horas após a intervenção cirúrgica (22,23). Essa abordagem oferece benefícios clínicos e psicológicos significativos, como a restauração imediata da estética e função, o aumento da satisfação do paciente e a eliminação do período de edentulismo durante a fase de cicatrização (5,30). Além disso, a provisionalização imediata contribui para a preservação do volume ósseo alveolar e da arquitetura dos tecidos moles, atuando como um guia para a formação do perfil de emergência e manutenção das papilas (5,26,42).

O sucesso desta etapa depende estritamente do alcance de uma estabilidade primária adequada, com valores de torque de inserção adequados como pré-requisito para o carregamento imediato (26,49,64). Em situações em que a estabilidade é insuficiente, o implante deve ser excluído do protocolo de carga para garantir a osseointegração (49). Além disso, o desenho da prótese provisória em áreas estéticas deve seguir princípios biorestauradores, como o perfil de emergência para suportar o contorno gengival, devendo ser mantida em infra-oclusão e sem contatos em movimentos laterais ou máxima intercuspidação para evitar sobrecargas prematuras (64,65).

No fluxo digital contemporâneo, a provisionalização é facilitada pelo uso de tecnologias CAD-CAM, que permitem o desenho e a fabricação de coroas ou próteses de arco total antes mesmo do ato cirúrgico (4,49). Materiais poliméricos de alta densidade, como o polimetilmetacrilato (PMMA) e polímeros à base de resina composta, são as opções preferenciais devido à sua maior resistência mecânica, estabilidade de cor e biocompatibilidade em comparação às resinas de autopolimerização convencional (30,44,49). A adaptação dessas peças ocorre frequentemente através do reembasamento, utilizando componentes como cilindros temporários de titânio e resinas de baixa contração para capturar com precisão a posição dos implantes instalados (5,26,49).

Protocolos como o All-on-4 digital demonstram alta previsibilidade e fidelidade entre o planejamento virtual e o resultado executado, garantindo um ajuste passivo das infraestruturas e minimizando ajustes oclusais complexos (6,25,44). Assim, a provisionalização digital imediata não apenas cumpre requisitos funcionais imediatos, mas atua como uma ferramenta diagnóstica vital para

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

validar a estética e a fonética antes da confecção da prótese definitiva em zircônia monolítica ou cerâmica (5,42,30).

Escaneamento Pós-Cirúrgico e Transferência Digital

Após a instalação dos implantes, a transferência das coordenadas tridimensionais para o ambiente digital é realizada por meio de IOS e dispositivos de transferência (30,33). Esses componentes são fixados sobre a plataforma do implante ou do pilar intermediário, permitindo que o software identifique com precisão a posição, inclinação e profundidade do implante em relação aos dentes adjacentes e tecidos moles (7,12,33). Esse registro digital elimina as imprecisões inerentes às moldagens físicas e fornece um modelo virtual de alta fidelidade que servirá como base para o desenho de pilares personalizados e restaurações definitivas (21,33).

Em reabilitações totais de arco, a técnica de escaneamento reverso permite integrar registros oclusais e a posição dos implantes através do escaneamento intraoral das próteses provisórias em boca aliado ao escaneamento extraoral de análogos, aumentando a precisão da prótese final (5). Além disso, tecnologias complementares como a fotogrametria podem ser integradas ao fluxo pós-cirúrgico para determinar a posição relativa de múltiplos implantes com acurácia superior aos IOS convencionais em extensões desdentadas (6,15).

A fase de escaneamento pós-cirúrgico também desempenha um papel crucial na validação da execução cirúrgica, permitindo sobrepor a posição real do implante ao planejamento virtual inicial para avaliar possíveis desvios (12,45). Ferramentas digitais como a função "cut out-rescan" auxiliam no refinamento do registro de términos cervicais e áreas de difícil captura, garantindo uma adaptação marginal superior das superestruturas fresadas (14,36). Uma vez validado o modelo digital, os arquivos em formatos universais como STL ou PLY são exportados para centros de fresagem, onde tecnologias CAD-CAM materializam os componentes protéticos com alta precisão micrométrica (10,30,33).

Pilares Personalizados e Desenho CAD

A integração dos sistemas CAD-CAM na implantodontia tem proporcionado oportunidades para a criação de soluções restauradoras personalizadas, que buscam atender às necessidades anatômicas específicas de cada paciente (30,33). O desenho assistido por computador (CAD) permite ao clínico e ao técnico projetar pilares que reproduzem a posição tridimensional exata do implante, superando as limitações geométricas e estéticas dos componentes pré-fabricados convencionais (10,33). Essa tecnologia tem sido amplamente adotada por favorecer um fluxo de trabalho mais ágil e previsível, permitindo a visualização da futura reabilitação em relação aos tecidos moles antes da materialização física (33,37).

O processo de confecção inicia-se com a aquisição de dados digitais, esses dados são processados para gerar um modelo virtual personalizado, permitindo ajustes finos no perfil de emergência e na trajetória do orifício de saída do parafuso (31,33). A possibilidade de analisar a imagem em tempo real no ambiente CAD reduz a ocorrência de erros laboratoriais e otimiza o tempo de cadeira na fase restauradora (33,37).

Um componente essencial do CAD é a configuração individualizada do complexo supracrestal, visando a estabilidade biológica e a harmonia estética (2,31). O software permite dividir o perfil de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

emergência em zonas críticas e subcríticas, onde a morfologia pode ser desenhada para suportar os tecidos moles sem comprometer o suprimento sanguíneo local (31,51). Através de ferramentas de espelhamento da dentição homônima contralateral, o clínico pode projetar pilares que mimetizam a anatomia do dente natural, favorecendo a indução de papilas e a mimetização gengival (31,13).

Em relação aos materiais, o fluxo CAD-CAM possibilita o uso de materiais de alto desempenho, como blocos de titânio ou zircônia monolítica, processados via fresagem computadorizada (30,33). O uso de infraestruturas híbridas, que combinam um pilar personalizado cimentado sobre uma base de titânio pré-usinada (Ti-Base), tem sido amplamente adotado para garantir a precisão micrométrica do ajuste com o implante (13,31). Essa técnica assegura a estabilidade mecânica do sistema e minimiza riscos de deiscências biológicas decorrentes de adaptações marginais imprecisas (33,34).

Pilares personalizados desenhados via CAD são fundamentais para solucionar desafios clínicos complexos, como o gerenciamento de implantes instalados em posições ou inclinações inadequadas (33,66). A tecnologia permite corrigir angulações severas que não seriam resolvidas por componentes angulados comerciais, garantindo a espessura adequada da cerâmica e facilitando a higienização pelo paciente (33,66). Em casos de reabilitações extensas ou arcos totais, o design CAD de pilares multi-unitários personalizados assegura o ajuste passivo das superestruturas e a distribuição equilibrada de cargas oclusais (44,66).

A previsibilidade estética final é drasticamente aumentada pela integração da morfologia de provisórios ao software de desenho (34,37). Técnicas de escaneamento que capturam o perfil de emergência condicionado permitem que o desenho do pilar definitivo seja uma replicação fiel do protótipo funcional bem-sucedido (34,37), reduzindo a necessidade de ajustes clínicos demorados e garantindo que a transição entre o implante e a restauração final ocorra de forma biologicamente respeitosa (31,37).

Assim, o domínio das ferramentas de desenho CAD consolidou-se como um requisito vital para a excelência na reabilitação oral sobre implantes na era digital (2,33).

Prótese Definitiva

A instalação da prótese definitiva representa o estágio final de um fluxo digital integrado, visando consolidar os resultados estéticos e funcionais planejados desde o início do tratamento. O uso de materiais de alto desempenho, como a zircônia monolítica processada via CAD-CAM, tem sido amplamente adotado por sua elevada resistência mecânica e propriedades ópticas que favorecem a mimetização dos tecidos naturais (67). A precisão micrométrica alcançada por sistemas de fresagem computadorizada favorece uma adaptação marginal superior, o que reduz significativamente o risco de complicações biológicas quando comparada aos métodos analógicos convencionais (68). Estudos clínicos indicam que reabilitações definitivas conduzidas sob este protocolo digital demonstram alta previsibilidade e excelentes taxas de sobrevivência a longo prazo (69).

A captura fiel do perfil de emergência, condicionado previamente pela restauração provisória, é considerada um requisito vital para a manutenção da saúde dos tecidos peri-implantares e estabilidade das papilas (31). O uso de técnicas de escaneamento de transferência ou a duplicação digital da coroa provisória permite que o laboratório replique com exatidão a arquitetura gengival

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

maturada no desenho final (34,37). Esse fluxo de trabalho sem modelos físicos otimiza o tempo de cadeira e elimina as distorções volumétricas inerentes aos materiais de moldagem e ao gesso (70).

Em casos complexos de reabilitação de arco total, a confecção de infraestruturas metálicas ou cerâmicas via tecnologias CAD-CAM é essencial para assegurar a passividade do assentamento sobre os implantes (44). O emprego de barras fresadas em titânio ou obtidas por tecnologias de fusão seletiva a laser (SLM) garante o ajuste necessário sobre múltiplos pilares intermediários, prevenindo falhas mecânicas como o afrouxamento ou fratura de parafusos protéticos (71,72). Além disso, a validação digital prévia de parâmetros como a dimensão vertical de oclusão e a relação cêntrica contribui diretamente para a estabilidade funcional e o conforto mastigatório do paciente (5,43).

A manufatura aditiva tem expandido significativamente as fronteiras da fase restauradora através da produção de protótipos e componentes biocompatíveis de alta precisão. A interação entre esses materiais impressos e o meio oral é um fator crítico para a longevidade clínica. O controle rigoroso da rugosidade e da energia de superfície nesses materiais impressos é fundamental para mitigar a colonização patogênica e garantir a integridade dos tecidos moles. Assim, a seleção de polímeros no fluxo digital deve equilibrar requisitos de resistência mecânica, biocompatibilidade e bioatividade (73).

A eficiência operacional do fluxo totalmente digital na finalização protética resulta em uma redução drástica no número de consultas e em um aumento na satisfação subjetiva do paciente (13, 25). A possibilidade de armazenar o conjunto de dados digitais permite a reprodutibilidade exata da restauração definitiva em caso de necessidade futura, oferecendo maior segurança e conveniência tanto para o clínico quanto para o paciente (33). Em última análise, a prótese definitiva consolida-se como o ápice de um planejamento integrado e fidedigno, focado na excelência biorestauradora e na durabilidade da reabilitação oral na era digital (31,74).

8- DISCUSSÃO

A principal contribuição da implantodontia digital não parece residir apenas na incorporação de tecnologias de imagem e planejamento, mas na possibilidade de transferir, com maior controle, objetivos protéticos para a execução cirúrgica. Entretanto, a transição para este fluxo é sustentada por uma literatura em que a maioria das evidências atuais ainda se concentra em estudos de validação diagnóstica e técnica iniciais (41). Embora revisões sistemáticas e metanálises confirmem a precisão superior dos protocolos assistidos, a translação para o benefício clínico real exige cautela, visto que a acurácia geométrica nem sempre se traduz em taxas de sobrevivência superiores a longo prazo (4,55).

A comparação entre a cirurgia guiada estática (s-CAIS) e a navegação dinâmica (d-CAIS) revela limites operacionais e técnicos distintos que influenciam a escolha clínica. Enquanto o s-CAIS é limitado pela tolerância mecânica inerente entre a fresa e a anilha e pela exigência de uma abertura bucal considerável, frequentemente superior a 50 mm (7,19). O d-CAIS demanda uma coordenação visual complexa entre o campo operatório e a tela do computador (6). Estudos indicam que, embora o d-CAIS possa oferecer um controle mais refinado do desvio angular por permitir ajustes intraoperatórios, o s-CAIS permanece a modalidade dominante devido à sua curva de aprendizado mais curta e menor complexidade de hardware (4).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A análise de custo-efetividade sugere que o elevado investimento inicial em scanners intraorais, tomógrafos e licenças de software continua sendo uma barreira significativa para a adoção universal da tecnologia. Pesquisas apontam que, embora o tempo cirúrgico diminua, o tempo dedicado ao planejamento virtual aumenta os custos operacionais indiretos (4). No entanto, em cenários de alta complexidade, como reabilitações totais de arco ou zonas estéticas com carga imediata, a redução de retrabalhos e a possibilidade de utilizar componentes protéticos de estoque mais dispendiosos podem compensar financeiramente o fluxo digital (5,44).

A aplicabilidade do fluxo digital fora de centros altamente digitalizados depende da democratização de sistemas abertos e da viabilidade de modelos de produção descentralizados. O uso de plataformas com exportação de arquivos STL e modelos de planejamento terceirizados permite que clínicos sem infraestrutura pesada acessem os benefícios da cirurgia guiada (2,10). Contudo, essa dependência externa exige que o cirurgião mantenha competência técnica para validar o desenho recebido, sob risco de transferir erros de segmentação ou de registro de dados para o campo operatório (24).

Vieses relacionados ao operador e às limitações intrínsecas das plataformas de software são frequentemente subestimados na prática rotineira. Mesmo com dados tridimensionais precisos, a definição da posição "ideal" do implante apresenta variabilidade significativa; evidências demonstram que desvios angulares e lineares ocorrem mesmo quando o mesmo operador planeja o mesmo caso em momentos diferentes (75). Além disso, a presença de artefatos metálicos na CBCT e a imprecisão dos algoritmos de segmentação automática podem introduzir erros cumulativos que comprometem a passividade da prótese final (9,10). Imagens com ruído dificultam a identificação de marcos anatômicos estáveis, comprometendo a precisão do alinhamento entre DICOM e STL, o que impacta diretamente na passividade da prótese final e na fidelidade do guia cirúrgico (9,10). A imprecisão dos algoritmos de segmentação em imagens com ruído compromete a passividade da prótese final e a fidelidade do guia cirúrgico. Portanto, a obtenção de imagens limpas e o refinamento manual dos dados são etapas críticas para mitigar desvios lineares e angulares durante a execução clínica (12,13).

Para além da precisão milimétrica, o sucesso clínico depende da integração biológica dos materiais e do manejo adequado dos tecidos moles peri-implantares. O fluxo minimiza o trauma cirúrgico em todos os casos. Tal evento é benéfico principalmente em pacientes com saúde sistêmica comprometida, uma vez que estes pacientes apresentam maior fragilidade biológica constitucional, o que pode levar a um quadro de maior morbidade por conta de doenças de base (22,23,49). A estabilidade dos tecidos a longo prazo é adicionalmente influenciada pela resistência das novas resinas de impressão 3D e biocompatibilidade (73) e pela eficácia biológica de superfícies obtidas por tecnologias de sinterização a laser (22,23).

As tendências futuras na implantodontia digital apontam para uma automação assistida por inteligência artificial e para o uso de Realidade Mista (MR) como forma de mitigar a distração visual dos sistemas dinâmicos atuais. Estudos descrevem o potencial promissor dos sistemas robóticos (r-CAIS) em reduzir a variabilidade humana para níveis submilimétricos e angulares quase nulos (12,16). A

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

convergência tecnológica entre algoritmos de segmentação automática e visualização holográfica 3D promete tornar o planejamento protético guiado mais intuitivo e seguro (11,41).

9- CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implantodontia digital tem se consolidado como uma abordagem relevante para o aprimoramento da previsibilidade terapêutica, integrando etapas que vão do diagnóstico por imagem ao planejamento virtual e à execução cirúrgica assistida. A adoção do planejamento protético guiado favorece o posicionamento do implante em consonância com os objetivos estéticos e funcionais da reabilitação, podendo contribuir para resultados mais consistentes, inclusive em casos de maior complexidade. Evidências clínicas sugerem que esses fluxos podem estar associados a adequada estabilidade clínica e manutenção da saúde dos tecidos peri-implantares, desde que respeitados os critérios de indicação, o controle técnico e o acompanhamento longitudinal. Além disso, as modalidades estática e dinâmica podem ampliar a precisão operatória e a padronização dos procedimentos, sem, contudo, substituir o julgamento clínico, a experiência do operador e a observância dos princípios biológicos e protéticos.

Declaração de uso de IA

Após pesquisa, revisão e leitura crítica dos artigos, o texto foi revisado com apoio da ferramenta NotebookLM e ChatGPT, sempre sob supervisão, análise crítica e revisão final dos autores. Todas as decisões conceituais, interpretações científicas, seleção de referências, adequação metodológica e versão final do manuscrito permaneceram sob responsabilidade integral dos autores.

REFERÊNCIAS

1. Devadson ND, Senthilkumar S, Rajasekar S. Digitally designed guided implant surgery in deficient maxillary ridges: Case reports. J Adv Periodontol Implant Dent. 2022;14(1):38-45. doi: 10.34172/japid.2022.002

2. Garcia A, Couso-Queiruga E, Raabe C, et al. Understanding the Workflows in Non-Guided and Static Computer-Assisted Implant Surgery. Clin Exp Dent Res. 2026;12:e70309. doi: 10.1002/cre2.70309

3. Mattheos N, Ivanovski S, Sambrook P, Klineberg I. Implant dentistry in Australian undergraduate dental curricula: knowledge and competencies for the graduating dentist. Aust Dent J. 2010;55:333–338. doi: 10.1111/j.1834-7819.2010.01246.x

4. Yeo XH, Fan S, Chantler JGM, Chow J, Pimkhaokham A, Mattheos N. Static- Computer Assisted Implant Surgery: Where Are We Now? Aust Dent J. 2025;70:S129–S145. doi: 10.1111/adj.13110

5. Alhazmi AA, Alharbi MT, Lahiq A, AlMarshoud LS, Mitwalli IT, Asali R, et al. Application of metallic guides and reverse scanning for full-mouth rehabilitation using implant-supported prostheses: A case report. J Prosthodont. 2025;34:777–83. doi: 10.1111/jopr.70026

6. Pozzi A, Carosi P, Laureti A, et al. Accuracy of navigation guided implant surgery for immediate loading complete arch restorations: Prospective clinical trial. Clin Implant Dent Relat Res. 2024;26(5):942-53. doi: 10.1111/cid.13360

7. Jorba-Garcia A, Pozzi A, Chen Z, et al. Glossary of Computer-Assisted Implant Surgery and Related Terms. First Edition. Clin Exp Dent Res. 2025;11(4):e70148. doi: 10.1002/cre2.70148

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

8. Nulty A. A literature review on prosthetically designed guided implant placement and the factors influencing dental implant success. Br Dent J. 2024;236:169-175. doi: 10.1038/s41415-024-7050-3

9. Chackartchi T, Romanos GE, Parkanyi L, Schwarz F, Sculean A. Reducing errors in guided implant surgery to optimize treatment outcomes. Periodontol 2000. 2022;88:64–72. doi: 10.1111/prd.12411

10.Kernen F, Kramer J, Wanner L, Wismeijer D, Nelson K, Flügge T. A review of virtual planning software for guided implant surgery - data import and visualization, drill guide design and manufacturing. BMC Oral Health. 2020;20:251. doi: 10.1186/s12903-020-01208-1

11.Wang X, Guan M, Liu L, et al. A novel dental implant training method based on mixed reality navigation technology. BMC Oral Health. 2025;25:1379. doi: 10.1186/s12903-025-06366-8

12.Shusterman A, Nashef R, Tecco S, Mangano C, Mangano F. Implant placement using mixed reality-based dynamic navigation: A proof of concept. J Dent. 2024;149:105256. doi: 10.1016/j.jdent.2024.105256

13.Fonseca FJPO, Matias BBR, Pacheco P, Muraoka CSAS, Silva EVF, Sesma N. Artificial Intelligence-Assisted Treatment Planning in an Interdisciplinary Rehabilitation in the Esthetic Zone. J Esthet Restor Dent. 2026. doi: 10.1111/jerd.13442

14.Tasaka A, Sasaki H, Harada A, et al. Simultaneous prosthodontic treatment for crowns of natural teeth and dental implants using digital technology: A case report. Clin Case Rep. 2023;11:e07187. doi: 10.1002/ccr3.7187

15.Li S, Liu J, Li J, Yin B, Feng Y, Liu Y, Bai N. Digital technology-enhanced reconstruction and rehabilitation following mandible fibular flap grafting with implants: a case report. Front Dent Med. 2025;6:1554315. doi: 10.3389/fdmed.2025.1554315

16.Jiajia W, Wang B, Liu YY, et al. Recent Advances in Digital Technology in Implant Dentistry. J Dent Res. 2025;103(8):787–799. doi: 10.1177/00220345241253794

17.Dibart S, Kernitsky-Barnatan J, Di Battista M, Montesani L. Robot assisted implant surgery: Hype or hope? J Stomatol Oral Maxillofac Surg. 2023;124:101612. doi: 10.1016/j.jormas.2023.101612

18.Atay E, Hey J, Beuer F, et al. Evaluation of the accuracy of fully guided implant placement by undergraduate students and postgraduate dentists: a comparative prospective clinical study. Int J Implant Dent. 2024;10:6. doi: 10.1186/s40729-024-00526-1

19.Liu Y, Xu Z, Zhou L, Huang H, Lin K, Zhang S, Xiao Y, Wu D. Evaluation of surgical performance and learning curves of dental students using freehand, static, and dynamic computer-assisted implant surgery: an in vitro study. BMC Oral Health. 2026;26:170. doi: 10.1186/s12903-025-07525-7

20.Uei LJ, Yeo XH, Leung YY, Pelekos G, Nawas BA, Mattheos N. Computer-Assisted Implant Surgery: Implications for Teaching, Learning, and Educational Strategies. Clin Exp Dent Res. 2025;11(4):e70197. doi: 10.1002/cre2.70197.

21.Naydenov A, Chapanov K. Enhancing Prosthetic Workflow With Prototype Constructions in Dental Implant Treatment. Cureus. 2025;17(11):e97460. doi: 10.7759/cureus.97460

22.Formiga MC, Martins I, Randazzo A, Guimarães C, Faverani L. Full-Arch Rehabilitation Using Implant-Guided Surgery and Ozone Therapy to Prevent Complications in a Systemically Compromised Patient. Cureus. 2024;16(12):e76251. doi: 10.7759/cureus.76251

23.Formiga MC, Fuller R, Ardelean LC, Shibli JA. Immediate Loading Full-Arch 3D-Printed Implant-Supported Fixed Rehabilitation: A Case Report with 24-Month Follow-Up. Medicina. 2024;60:1614. doi: 10.3390/medicina60101614

24.Todaro C, Cerri M, Rodriguez y Baena R, Lupi SM. Full-Arch Guided Restoration and Bone Regeneration: A Complete Digital Workflow Case Report. Healthcare. 2023;11:1301. doi: 10.3390/healthcare11091301

25.Todaro C, Cerri M, Rodriguez y Baena R, Lupi SM. Lower Jaw Full-Arch Restoration: A Completely Digital Approach to Immediate Load. Healthcare. 2024;12:332. doi: 10.3390/healthcare12030332

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

26.Urviola MU, Martins SCR, Sousa LLL, Fernandes G, Skiba THI. A Step-by-Step Description of Immediate Loading Provisionalization Following Computer-Guided Surgery and Provisional Printed Prosthesis Placement: A Case Report. Cureus. 2025;17(8):e90575. doi: 10.7759/cureus.90575

27.Garcia-Torres F, Jurado CA, Rojas-Rueda S, Conner C, Mohamed AA, Azpiazu-Flores FX. Immediate Implant Therapy with Full-Digital Workflow to Replace a Central Incisor. Dent J. 2025;13:73. doi: 10.3390/dj13020073

28.Bornstein MM, Scarfe W, Vaughn V, Jacobs R. Cone Beam Computed Tomography in Implant Dentistry: A Systematic Review Focusing on Guidelines, Indications, and Radiation Dose Risks. Int J Oral Maxillofac Implants. 2014;29:55–77. doi: 10.11607/jomi.2014suppl.g1.3

29.Jacobs R, Salmon B, Codari M, Hassan B, Bornstein MM. Cone beam computed tomography in implant dentistry: recommendations for clinical use. BMC Oral Health. 2018;18:88. doi: 10.1186/s12903-018-0523-5.

30.Hölken F, Beuer F, Müller-Nawas B, et al. Immediate loading of a chairside-fabricated restoration on a single implant in the esthetic zone: A case report. Medicina. 2022;58:1612. doi: 10.3390/medicina58121612

31.Zeng H, Zhou M, Ge Y, Yao Y, Cai X. Digital workflow in the design of individualized emergence profiles of implant restorations based on the contralateral tooth. J Prosthodont Res. 2024;68(3):482-486. doi: 10.2186/jpr.JPR_D_23_0012782-486.

32.de Paris Matos T, Wambier LM, Favoreto MW, Rezende CEE, Reis A, Loguercio AD, et al. Patient-related outcomes of conventional impression making versus intraoral scanning for prosthetic rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. J Prosthet Dent. 2023;130(1):19–27. doi: 10.1016/j.prosdent.2021.08.022.

33.Barros JHL, Oliveira MN, Cardoso IO, Oliveira GJPL, Prado CJ, Neves FD. Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing of Customized Abutment for Rehabilitating a Malpositioned Implant Using Digital Flow: A Case Report. Healthcare. 2023;11(18):2472. doi: 10.3390/healthcare11182472

34.Canullo L, Pesce P, Menini M, Joda T, Rakic M. Duplication of subgingival contour of a provisional restoration used as an emergence profile template for the final digital impression in the esthetic zone. J Esthet Restor Dent. 2018;30(6):499-505. doi: 10.1111/jerd.12423

35.Joda T, Wittneben JG, Brägger U. Digital implant impressions with the “Individualized Scanbody Technique” for emergence profile support. Clin Oral Implants Res. 2014;25:395–397. doi: 10.1111/clr.12140

36.Reich S, Yatmaz B, Raith S. Do “cut out- rescan” procedures have an impact on the accuracy of intraoral digital scans? J Prosthet Dent. 2021;125(1):89-94. doi: 10.1016/j.prosdent.2019.12.019.

37.Tanaka S, Kamimura-Sugimura E, Shimoyama T, Baba K. Novel model-less fully digital workflow for implant superstructures in an esthetic zone: A technical report. J Prosthodont Res. 2023;67(4):652-56. doi: 10.2186/jpr.JPR_D_22_00160

38.Amin SA, Hann S, Elsheikh AK, Boltchi F, Zandinejad A. A complete digital approach for facially generated full arch diagnostic wax up, guided surgery, and implant-supported interim prosthesis by integrating 3D facial scanning, intraoral scan and CBCT. J Prosthodont. 2023;32(1):90–93. doi: 10.1111/jopr.13532

39.Coachman C, Calamita MA, Sesma N. Dynamic documentation of the smile and the 2D/3D digital smile design process. Int J Periodontics Restorative Dent. 2017;37(2):183–193. doi: 10.11607/prd.3005

40.Kongkiatkamon S, Rokaya D. Full Digital Workflow in the Esthetic Dental Restoration. Case Rep Dent. 2022;2022:1-6. doi: 10.1155/2022/1234567

41.Vázquez-Sebrango G, Anitua E, Macía I, Arganda-Carreras I. The role of artificial intelligence in implant dentistry: a systematic review. Int J Oral Maxillofac Surg. 2025;54:1098–1122. doi: 10.1016/j.ijom.2025.04.005

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

42.Mendoza-Azpur G, Villanueva Valenzuela M, Alva Agurto JR, Castaneda A, Padilla-Avalos CA. Digitally milled multifunctional guide for immediate anterior implant placement and provisionalization. J Indian Prosthodont Soc. 2026;26:208-12. doi: 10.4103/jips.jips_598_25

43.Voß AS, Bunz O, Kurbad O, Bürgers R. Fully digital workflow of an occlusal device including digital facebow record: a clinical report. J Prosthet Dent. 2024;S0022-3913(24)00061-1. doi: 10.1016/j.prosdent.2024.01.027.

44.Martins J, Rangel J, de Araújo Nobre M, Ferro A, Nunes M, Almeida R, Moura Guedes C. A New Full Digital Workflow for Fixed Prosthetic Rehabilitation of Full-Arch Edentulism Using the All-on-4 Concept. Medicina. 2024;60(5):720. doi: 10.3390/medicina60050720

45.Tuce RA, Neagu M, Pupăzan V, Neagu A, Arjoca S. Full-Arch Oral Rehabilitation in All-on-4 "M" Configuration Using Surgical Guides with Internal Cooling: A Clinical Case Report. J Clin Med. 2026 Jan 29;15(3):1070. doi: 10.3390/jcm15031070.

46.De Vico G, Ferraris F, Arcuri L, Guzzo F, Spinelli D. A novel workflow for computer guided implant surgery matching digital dental casts and CBCT scan. Oral Implantol (Rome). 2016;9(1):33-48. doi: 10.11138/orl/2016.9.1.033

47.Ntovas P, Marchand L, Finkelman M, Revilla-León M, Att W. Accuracy of manual and artificial intelligence-based superimposition of cone-beam computed tomography with digital scan data, utilizing an implant planning software: A randomized clinical study. Clin Oral Implants Res. 2024;35(10):1262–1272. doi: 10.1111/clr.14313

48.Elgarba BM, Fontenele RC, Ali S, et al. Validation of a novel AI-based automated multimodal image registration of CBCT and intraoral scan aiding presurgical implant planning. Clin Oral Implants Res. 2024;35(11):1506–1517. doi: 10.1111/clr.14338

49.Ahmed WM, Alhazmi A, Alharbi MT, Azhari AA, Alqarni H, Shaheen HF, et al. Maxillary and mandibular complete-arch implant rehabilitation using a complete digital workflow: a case report. J Prosthodont. 2023;32(8):662–68. doi: 10.1111/jopr.13677

50.Puisys A, Janda M, Vauzbi kaviciute V, Gallucci GO, Mattheos N. Contour Angle and Peri-Implant Tissue Height: Two Interrelated Features of the Implant Supracrestal Complex. Clin Exp Dent Res. 2023;9(3):418–424. doi: 10.1002/cre2.731

51.Pedrinaci I, Hamilton A, Lanis M, Sanz M, Gallucci GO. The Bio-Restorative Concept for Implant-Supported Restorations. J Esthet Restor Dent. 2024;36:1516–1527. doi: 10.1111/jerd.13306

52.Jivraj S, Chee W. Treatment planning of implants in posterior quadrants. Br Dent J. 2006;201(1):13–23. doi: 10.1038/sj.bdj.4813761

53.Gomez-Meda R, Esquivel J, Blatz MB. The esthetic biological contour concept for implant restoration emergence profile design. J Esthet Restor Dent. 2021;33:173–184. doi: 10.1111/jerd.12714

54.Blatz MB, Coachman C. The Complete Digital Workflow in Implant Dentistry. Compend Contin Educ Dent. 2023;44(7):416. PMID: 37494665.

55.Tahmaseb A, Wu V, Wismeijer D, Coucke W, Evans C. The accuracy of static computer-aided implant surgery: a systematic review and meta-analysis. Clin Oral Implants Res. 2018;29(Suppl 16):416–435. doi: 10.1111/clr.13307

56.Schmidt MB, Rauch A, Schwarzer M, Lethaus B, Hahnel S. Combination of Digital and Conventional Workflows in the CAD/CAM-Fabrication of an Implant-Supported Overdenture. Materials. 2020;13:3688. doi: 10.3390/ma13173688

57.Grunder U, Gracis S, Capelli M. Influence of 3-D bone to implant relationship on esthetic. Int J Periodontics Restorative Dent. 2005;25:113–119. PMID: 15816361.

58.Askary AS, Meffert RM, Griffin T. Why do dental implants fail? Part I. Implant Dent. 1999;8:173–185. doi: 10.1097/00008505-199908030-00001

59.Janda M, Mattheos N. Prosthetic Design and Choice of Components for Maintenance of Optimal Peri-Implant Health: A Comprehensive Review. Br Dent J. 2024;236(10):765–771. doi: 10.1038/s41415-024-7431-7

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

60.Mukai S, Mukai E, Santos-Junior JA, Shibli JA, Faveri M, Giro G. Assessment of the Reproducibility and Precision of Milling and 3D Printing Surgical Guides. BMC Oral Health. 2021;21:1. doi: 10.1186/s12903-020-01362-6

61.Schulz MC, Hofmann F, Range U, Lauer G, Haim D. Pilot-drill guided vs. full-guided implant insertion in artificial mandibles-a prospective laboratory study in fifth-year dental students. Int J Implant Dent. 2019 Jun 26;5(1):23. doi: 10.1186/s40729-019-0176-4.

62.Li J, Meneghetti PC, Galli M, Mendonca G, Chen Z, Wang HL. Open-sleeve templates for computer-assisted implant surgery at healed or extraction sockets: an in vitro comparison to closed-sleeve guided system and free-hand approach. Clin Oral Implants Res. 2022;33(7):757-767. doi: 10.1111/clr.13957.

63.Romandini M, Ruales-Carrera E, Sadilina S, Hämmerle CHF, Sanz M. Minimal invasiveness at dental implant placement: a systematic review with meta-analyses on flapless fully guided surgery. Periodontol 2000. 2023;91(1):89–112. doi: 10.1111/prd.12440.

64.El Ebiary SO, Atef M, Abdelaziz MS, Khashaba M. The pink esthetic score following immediate implant placement with immediate provisionalization versus CAD/CAM provisionalization in the maxillary aesthetic: a research note. BMC Res Notes. 2023;16:331. doi: 10.1186/s13104-023-06606-w

65.Katahira N, Seki K, Takegawa H, Nikaido S. Immediate Implant Placement and Provisionalization Without Guided Bone Regeneration or Connective Tissue Grafting: A Case Report. Cureus. 2025;17(10):e94469. doi: 10.7759/cureus.94469

66.Huang YF, Chang CT, Lin CH, Shen YF. Prosthodontic rehabilitation with all-on-four implant treatment combined CAD/CAM prosthesis in an oral cancer patient: a case report. BMC Oral Health. 2024;24(1):1080. doi: 10.1186/s12903-024-04821-6

67.Pelekanos S, Ntovas P, Rizou V, Pozzi A. Translucent monolithic zirconia titanium-supported FP1 full-arch prosthesis: a novel proof of concept to address esthetic, functional, and biologic challenges. J Esthet Restor Dent. 2024;36(1):197-206. doi: 10.1111/jerd.13167.

68.das Neves FD, de Almeida TAP, do Prado CJ, Prudente MS, Zancopé K, Davi LR. Micrometric precision of prosthetic dental crowns obtained by optical scanning and computer-aided design/computer-aided manufacturing system. J Prosthet Dent. 2014;112(5):1145–51. doi: 10.1016/j.prosdent.2014.04.015.

69.Pjetursson BE, Tan K, Lang NP, Bragger U, Egger M, Zwahlen M. A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years. Clin Oral Implants Res. 2004;15:667–676. doi: 10.1111/j.1600-0501.2004.01117.x

70.Sasada Y, Huynh-Ba G, Funakoshi E. Transferring subgingival contours around implants and the intaglio surface of the pontic to definitive digital casts by using an intraoral scanner: A technique. J Prosthet Dent. 2020;123:210–4. doi: 10.1016/j.prosdent.2019.04.008

71.Scarano A, Stoppaccioli M, Casolino T. Zirconia crowns cemented on titanium bars using CAD/CAM: a five-year follow-up prospective clinical study of 9 patients. BMC Oral Health. 2019;19:286. doi: 10.1186/s12903-019-0988-x

72.Yang JW, Liu Q, Yue ZG, Hou JX, Afrashtehfar KI. Digital Workflow for Full-Arch Immediate Implant Placement Using a Stackable Surgical Guide Fabricated Using SLM Technology. J Prosthodont. 2021;30:645–650. doi: 10.1111/jopr.13327

73.Uehara EK, Castro de Lima G, Sardi JCO, de Figueiredo LC, Shibli JA, Asbi T, Haim D, Augusto Rodrigues J. Next-Generation Dental Materials: Exploring Bacterial Biofilm Formation on 3D-Printable Resin-Based Composites. J Funct Biomater. 2025 Jan 3;16(1):12. doi: 10.3390/jfb16010012

74.Beretta M, Poli PP, Tansella S, Maiorana C. Virtually guided alveolar ridge reduction combined with computer-aided implant placement: a case report. Materials (Basel). 2019;12:3041. doi: 10.3390/ma12183041

75.Raabe C, Biel P, Dulla FA, Janner SFM, Abou-Ayash S, Couso-Queiruga E. Inter- and Intraindividual Variability in Virtual Single-Tooth Implant Positioning. Clin Oral Implants Res. 2024;35(8):810–820. doi: 10.1111/clr.14300.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.